

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí



**ZASTŘEŠENÍ HALOVÉHO OBJEKTU
S VYUŽITÍM TENKOSTĚNNÝCH PROFILŮ**

**ROOF STRUCTURE OF THE HALL
USING THIN-WALLED COLD-FORMED STEEL
SECTION**

Jméno:

Bc. Pospíšil Michal

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Rosmanit Miroslav, Ph.D.

OSTRAVA 2011

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Pospíšil**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: Zastřešení halového objektu s využitím tenkostěnných profilů.
Roof structure of the hall using thin-walled cold-formed steel sections.

Zásady pro vypracování:

V rámci diplomové práce vypracujte:

1. Zásady a odlišnosti návrhu tenkostěnných ocelových konstrukcí.
2. Návrh zastřešení objektu pomocí tenkostěnných ocelových profilů, porovnání návrhu pomocí tabulek nebo software výrobce a pomocí ručního výpočtu dle platných norem.
3. Návrh tří variant vazníků z tlustostěnných profilů.
4. Předběžné posouzení základních nosných prvků navržených nosných konstrukcí, ekonomické zhodnocení.
5. Podrobné dispoziční a architektonické řešení zastřešení objektu (část dokumentace pro stavební řízení).
6. Statický výpočet rozhodujících nosných prvků zvolené varianty a ztužení konstrukce.
7. Návrh a posouzení vybraných spojů.
8. Výrobní dokumentace důležitých nebo zvláštních částí konstrukcí.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí.
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí.
- [3] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- [4] ČSN EN 1993-1-3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-3: Obecná pravidla - Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily
- [6] Studnička, J., Macháček, J., Votlučka, L.: Ocelové konstrukce 20 – Pozemní stavby, Praha 1998
- [7] Studnička, J.: Ocelové konstrukce 10 – Tenkostěnné profily
- [8] Studnička, J.: Navrhování tenkostěnných za studena tvarovaných profilů, AVČR, Praha 1994
- [9] Odborné časopisy – Konstrukce, Stavitel, Structural Engineering, Stahlbau
- [10] Internet

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Miroslav Rosmanit, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2011

Datum odevzdání: 30.11.2011



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

.....

podpis

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

ANOTACE

Zadaná diplomová práce řeší návrh a posouzení zastřešení halového objektu s využitím tenkostěnných profilů (trapézových a vaznic), které jsou navrženy dle tabulek vybraného výrobce (firma Rukki) a následně posouzeny ručním výpočtem dle platných norem ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-3.

Dále řeší návrh a předběžné posouzení tří variant příhradových vazníků z tlustostěnných obdélníkových profilů a jejich vzájemné porovnání zejména z ekonomického pohledu.

Dalším úkolem diplomové práce byl návrh a posouzení vybraných spojů a výrobní dokumentace důležitých nebo zvláštních částí konstrukcí.

The specified thesis addresses the design and assessment of building a roof using thin sections (trapezoidal sheet and purlin profiles), that are designed according to the selected manufacturer's (Company Rukki) and subsequently assessed by manual calculation according to the applicable standards ČSN EN 1993-1-1 and ČSN EN 1993-1-3.

It also addresses the design and preliminary assessment of the three variants of trusses from thick-walled rectangular profiles and their mutual comparison especially from an economic perspective.

Another task of the thesis is the design and an assessment of selected joints, together with detailed plans for the specified construction.

OBSAH

0. Úvod – tenkostěnné ocelové konstrukce	15
1. Metodika řešení diplomového projektu - schéma ocelové haly	19
1.1. Výpočet zatížení	21
1.1.1. Stálé zatížení	21
1.1.2. Užitné zatížení	21
1.1.3. Výpočet zatížení sněhem	21
1.1.4. Výpočet zatížení větrem	21
1.1.4.1. Tlak větru na střešní konstrukci	22
1.1.4.1.1. Součinitel vnějšího tlaku – vítr působící příčně	23
1.1.4.1.2. Součinitel vnějšího tlaku – vítr působící podélně	25
2. Střešní plášť	27
2.1. Horní střešní trapézový plech – návrh a posouzení (tabulkové)	27
2.1.1. Posouzení horního trapézového plechu ručním výpočtem	30
2.1.1.1. Stanovení účinného průřezu	30
2.1.1.2. Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu	32
2.1.1.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou	34
2.1.1.4. Lokální příčné síly	35
2.1.1.5. Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce	36
2.1.2. Posouzení obráceného horního trapézového plechu ručním výpočtem	37
2.1.2.1. Stanovení účinného průřezu stojiny	37
2.1.2.2. Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu	39
2.1.2.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou	41
2.1.2.4. Lokální příčné síly	42
2.1.2.5. Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce	43
2.2. Spodní střešní trapézový plech – návrh a posouzení (tabulkové)	44
2.2.1. Posouzení spodního trapézového plechu ručním výpočtem	49

2.2.1.1.	Stanovení účinného průřezu stojiny.....	49
2.2.1.2.	Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu.....	51
2.2.1.3.	Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou...	53
2.2.1.4.	Lokální příčné síly.....	54
2.2.1.5.	Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce.....	55
2.2.2.	Posouzení obráceného spodního trapézového plechu ručním výpočtem.....	56
2.2.2.1.	Stanovení účinného průřezu.....	56
2.2.2.2.	Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu.....	58
2.2.2.3.	Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou...	60
2.2.2.4.	Lokální příčné síly.....	61
2.2.2.5.	Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce.....	62
3.	Vaznice.....	63
3.1.	Návrh a posouzení vaznice (tabulkové).....	63
3.2.	Posouzení vaznice ručním výpočtem (pro krajní pole).....	69
3.2.1.	Stanovení účinného průřezu stojiny.....	69
3.2.2.	Ohybový moment dle efektivního průřezu.....	73
3.2.3.	Porovnání ohyb. momentu a smykové únosnosti nad podporou.....	76
3.2.4.	Posouzení od maximálního zatížení nad podporou.....	79
3.2.5.	Posouzení od minimálního zatížení v poli (klopení pásnice).....	82
3.3.	Posouzení vaznice ručním výpočtem (pro vnitřní pole).....	84
3.3.1.	Stanovení účinného průřezu.....	84
3.3.2.	Ohybový moment dle efektivního průřezu.....	96
3.3.3.	Porovnání ohyb. momentu a smykové únosnosti nad podporou.....	98
3.3.4.	Posouzení od maximálního zatížení nad podporou.....	101
3.3.5.	Posouzení od minimálního zatížení v poli (klopení pásnice).....	104
4.	Příhradový vazník.....	107
4.1.	Návrh tří druhů příhradových vazníků.....	107

4.1.1.	Únosnost vazníku č.1.....	113
4.1.2.	Únosnost vazníku č.2.....	115
4.1.3.	Únosnost vazníku č.3.....	117
4.1.4.	Mezní stav použitelnosti všech tří příhradových vazníků.....	119
4.2.	Posudek prutů.....	121
4.2.1.	Posudek prutů u příhradového vazníku č.1.....	121
4.2.1.1.	Posudek styčnicku příhradového vazníku č.1.....	125
4.2.2.	Posudek prutů u příhradového vazníku č.2.....	129
4.2.2.1.	Posudek styčnicku příhradového vazníku č.2.....	131
4.2.3.	Posudek prutů u příhradového vazníku č.3.....	133
4.2.3.1.	Posudek styčnicku příhradového vazníku č.3.....	135
4.3.	Porovnání příhradových vazníků	137
5.	Montážní styky.....	139
5.1.	Horní pás příhradového vazníku.....	139
5.2.	Dolní pás příhradového vazníku.....	140
5.3.	Diagonální prut.....	143
6.	Vyztužení haly – příčné a podélné vyztužení haly.....	147
7.	Závěr.....	149
8.	Literatura.....	151

Přílohy:

Příloha č.1.....Výsledky zatížení a jejich kombinace

Příloha č.2.....Výkresová dokumentace - zastřešení halového objektu

0. Úvod – tenkostěnné ocelové konstrukce

Téma práce

Tématem mé diplomové práce je navrhnutí zastřešení halového objektu s využitím tenkostěnných profilů (tzn. trapézových střešních profilů a vaznic), dle tabulek výrobců a jejich porovnání ručním výpočtem. Další prací bylo navržení tří variant příhradových konstrukcí a jejich vzájemné porovnání především z ekonomického pohledu.

Zásady a odlišnosti návrhu tenkostěnných ocelových konstrukcí

Tenkostěnné ocelové profily jsou válcované za studena z hluboko žárově pozinkované oceli s mezí kluzu 350 MPa. Používané tloušťky profilů jsou od 0,7 do 3,0 mm, v závislosti na typu a použití profilu. Jsou určeny zejména pro konstrukční účely ve stavbách jako nosné a doplňkové profily. Všechny profily jsou navrženy a vyráběny dle normy pro navrhování tenkostěnných profilů ČSN EN 1993-1-3.

Materiál tenkostěnných profilů:

Tenkostěnné profily jsou vyrobeny z tenkého plechu válcovaného za studena. Materiálové vlastnosti a součinitele dle ČSN EN 1993-1-1 a ČSN EN 1993-1-3 jsou:

- mez kluzu $f_{yb,k} = 350 \text{ [Mpa]}$
- mez pevnosti $f_{u,k} = 420 \text{ [Mpa]}$
- modul pružnosti $E_k = 210\,000 \text{ [Mpa]}$
- modul pružnosti ve smyku $G_k = E_k/2,6 \text{ [Mpa]}$

Tenkostěnné profily jsou vyráběné z oboustranně pozinkovaného plechu bez dalších povrchových úprav. Pozinkování je klasifikováno stupněm Z275 dle EN 10147.

Označení:

„Z“, „C“ a „Σ“ profily jsou tvarovány z plechu tloušťky 1,5, 2,0, 2,5 nebo 3,0 mm.

Výška profilu je od 120 do 300 mm. Způsob značení profilu je:

Z 200/1,5 – S

Z, C, Σ – tvar profilu **200** - velikost profilu (mm)

1,5 – tloušťka profilu (mm) **S** – označení typu profilu

Výhody tenkostěnných profilů:

- střešní tenkostěnné profily mají vzhledem ke své únosnosti nízkou hmotnost, což výrazně snižuje celkovou hmotnost střešní konstrukce používající tenkostěnné profily
- vaznice efektivně využívají vlastnosti materiálu. Díky vysoké pevnosti základního materiálu je požadovaná únosnost s menší průřezovou tloušťkou, čímž dochází k výraznějším úsporám materiálu a tím i ke snížení celkových nákladů
- vaznice zabírají jen malý prostor při její přepravě, tím se může zabezpečit zároveň i doprava pro větší střešní konstrukci, čímž dochází k šetření na dopravu.
- vaznice umožňují jednoduché lokální zvýšení únosnosti. Např. úpravou vzájemného napojení bez potřeby změny konstrukčního systému.
- vaznice jsou vyrobeny z pozinkovaného materiálu s dobrou odolností proti korozi. Tato povrchová úprava umožňuje použití tenkostěnných vaznic i v komplikovaných podmínkách.
- vaznice jsou plně recyklovatelné.

Nevýhody tenkostěnných profilů?:

- koroze? (výdrž až 50 let – žárové pozinkování, metalizace)
- cena? (otázka pro projektanta a výrobce, technologie viz. srovnání příhradových konstrukcí)
- požární odolnost? (provádí se výpočtem, obklady, nástřiky a nátěry)

Konstrukční zásady:

- tenkostěnné profily jsou hlavně určeny jako nosné prvky střech a stěn. Používají se jako vaznice, paždíky nebo stěnové sloupky. Při návrhu je využíváno spolupůsobení s plošnými prvky opláštění ke stabilizaci vaznice.
 - při návrhu se zohledňuje způsob připojení opláštění k pásnici profilu. Tenkostěnné profily se používají jako nosné prvky střech a stěn standardně do rozpětí 12 až 14m.
 - „Z“, „C“ a „Σ“ profil lze používat jako prostý nosník či spojitý o dvou polích (případně i o třech) . „Z“ profil lze použít pro velmi únosný spojitý systém s přesahy min. o třech polích, na celou délku objektu, při pěti a více polích s krajními poli o stupeň tlustšího. Profily jsou vyráběny a dodávány v délkách polí zvětšených o standardizované přesahy nad vnitřními podporami.
- Spojitosti nosníku je dosaženo vložením jednoho „Z“ profilu do druhého a jejich vzájemným sešroubováním ve zdvojení nad vnitřní podporou a na konci přesahů. Pro systémy s lichým počtem polí musí být krajní „Z“ profily osazeny vždy se širší pásnicí směrem k plášti.

- rovina ztužení se umísťuje do úrovně připojení botek „Z“, „C“ a „Σ“ profilů k vazníkům či k sloupům.
- v místě podpor je připojení k nosné konstrukci provedeno prostřednictvím botky pro připojení shora vazníku nebo vně sloupu (botka může být z plechu nebo úhelníku, případně s výztuhou) nebo na výztuhu při připojení mezi vazníky resp. sloupy.
- V místě podpory je připojení k botce realizováno šrouby M12 (pro Z 120, Z 140 a všechny profily „C“ a „Σ“) resp. šrouby M16 (pro „Z“ profily od Z 180 výše). Používají se šrouby jakosti 5,8 nebo 8,8.
- Tenkostěnné profily jsou na botky zavěšeny (pásnice profilů nejsou v kontaktu v podpůrnou konstrukcí).

Dle požadavků normy pro navrhování tenkostěnných profilů se profily „Z“, „C“ a „Σ“ se používají při splnění následujících konstrukčních zásad:

- profily musí být podepřeny (připojeny) tak, že mezi spodní pásnicí tenkostěnného profilu a spodní konstrukcí musí být 5 mm vůle
- volný okraj u vaznic horní pásnice „Z“ profilu směřuje vždy k hřebeni střechy (proti spádu střechy)
- při montáži vaznic a paždíků je nutné zajistit stabilitu horního tlačného pásu do doby, než bude připojen plášť
- při montáži paždíků je nutné vhodným způsobem provizorně zajistit profily proti svislé deformaci (např. rozepráním) do doby, než bude připojen stěnový plášť
- hřebenové vaznice jsou navzájem propojeny buď průběžným plechem (používá se pozinkovaný plech tloušťky 1,5 až 3 mm přišroubovaný k vaznicím spolu s krytinou) nebo spojovacími prvky v roztečích cca L/4 až L/6 (resp. 1 až 1,5 m)

U hřebenových vaznic je nutné pro namáhání připočíst svislou výslednici od šikmé složky zatížení (ve spádu střech).

- při větších spádech střechy nebo při větších délkách spádu střechy (nad 20 m) se doporučuje propojení vaznic do hřebenové vaznice táhly v polovině nebo pro větší rozpětí ve třetinách rozpětí pole

Vlastnosti tenkostěnných konstrukcí

Tenkostěnné průřezy se skládají z jednotlivých rovinných stěn, které se společně stýkají v rozích průřezu. Tlakovým zatížením stěny může dojít ke ztrátě stability vybočením. Při namáhání průřezu tlakovým napětím se jednotlivé stěny navzájem ovlivňují tak, že stěna s menším kritickým napětím má tendenci vyboulit a další stěna jí na okrajích poskytuje pružné vetknutí.

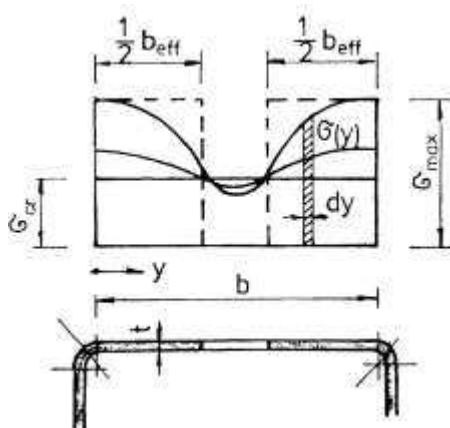
Rovnoměrně tlačená ideální stěna vybočí po dosažení kritického napětí (σ_{cr}), ale protože má na okrajích pružné vetknutí, nezhroutí se ale naopak v důsledku membránových napětí její únosnost není vyčerpána. Má tzv. pokritickou rezervu.

Vyboulit mohou i stěny namáhané nerovnoměrným tlakem nebo smykem.

Skutečné pruty v důsledku imperfekcí unesou vždy méně než pruty ideální.

Ve výpočtu se tlačené části redukuje. Zavede se tzv. účinná šířka a působí tak jen účinný průřez složený z plně působících tažených částí a účinných šířek (b_{eff}) tlačných částí. Pro tento průřez lze pak stanovit (A_{eff} , W_{eff} , I_{eff}).

S těmito hodnotami se dále pracuje při stanovení únosnosti v tlaku nebo ohybu (pružný výpočet).



1. Metodika řešení diplomového projektu

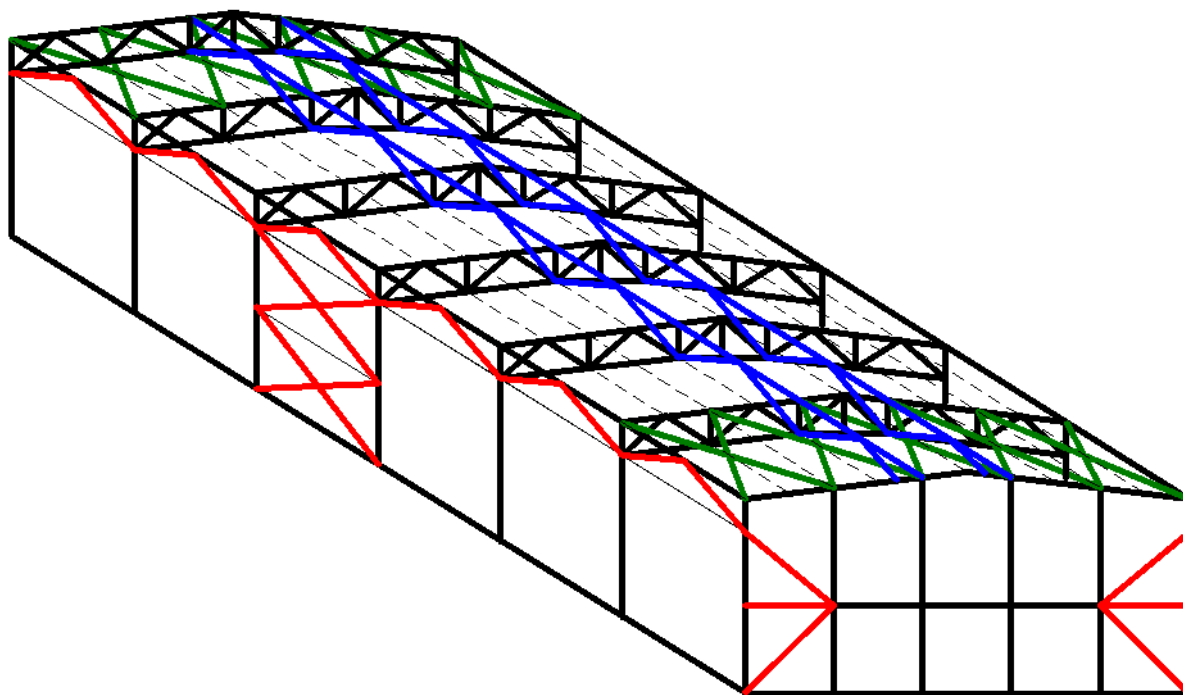
Pro diplomovou práci byla navrhována jednolodní ocelová hala o rozpětí 20 m a délce 33 m. Příčné vazby haly jsou navrženy s vetknutými sloupy a příhradovým vazníkem osově podélně vzdáleny po 5,5 m. Sklon střešní konstrukce je 7° .

Střešní konstrukce (trapézový plech, vaznice) byla zkonstruována s využitím tenkostěnných prvků. Výběr střešních profilů a tabulkové únosnosti byly použity od firmy Rukki. Příhradový vazník byl navržen a posouzen z tlustostěnných čtvercových a obdélníkových profilů.

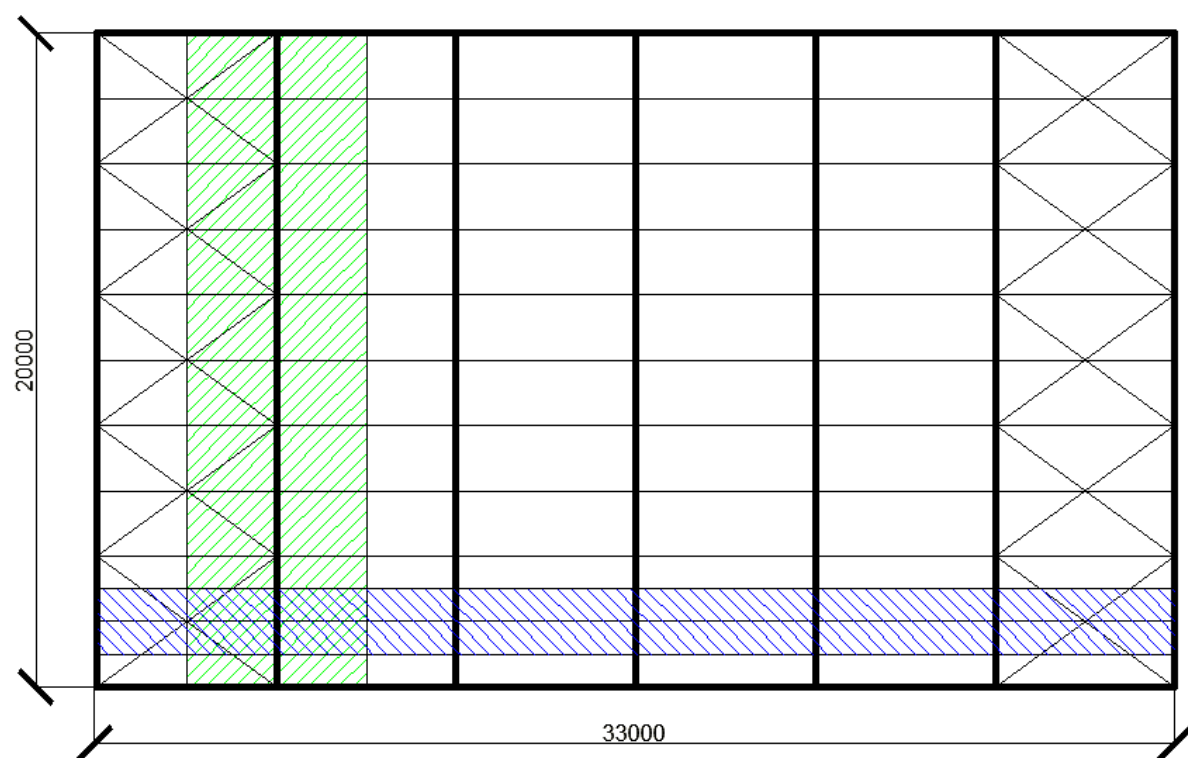
Zatížení je určeno dle příslušných částí EN na zatížení větrem a sněhem.

Statický výpočet byl proveden dle ČSN 1993-1-1, ČSN 1993-1-3 a ČSN 1993-1-5. Příslušné spoje příhradového vazníku byly počítány dle normy ČSN 1993-1-8. Lokalita do které je hala navržena, leží ve II. sněhové oblasti, v předměstské oblasti s referenční rychlostí větru 25 m/s.

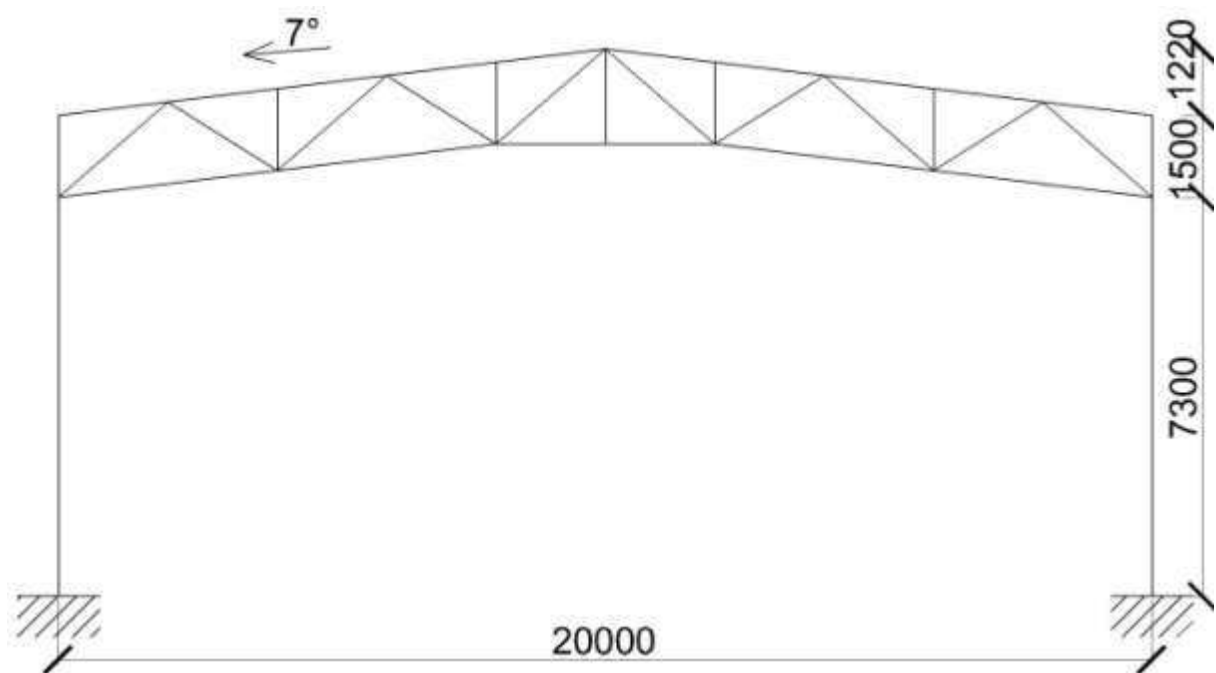
Schéma halového objektu:



Půdorysný tvar haly



Řez haly



1.1. Výpočet zatížení

1.1.1. Zatížení stálé

Charakteristická hodnota zatížení: g_k = (počítáno při návrhu)

1.1.2. Zatížení užité

Kategorie střechy H. (střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav)

Charakteristická hodnota zatížení: $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$

1.1.3. Zatížení sněhem

Sněhová oblast II:

$$S_k = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

Součinitel expozice (typ krajiny – normální):

$$C_e = 1,0$$

Tepelný součinitel:

$$C_t = 1,0$$

Sklon střechy $\alpha = 8^\circ$

$$\mu_1 = 0,8$$

Charakteristická hodnota zatížení:

$$S_{k,1} = S_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1$$

$$S_{k,1} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,05 = 0,84 \text{ kN/m}^2$$

$$S_{k,2} = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

1.1.4. Zatížení větrem

Rychlost a tlak větru

Základní rychlost větru:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

pro běžné případy:

$$c_{dir} = 1,0$$

$$c_{season} = 1,0$$

výpočtově pak:

$$v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = \underline{25 \text{ m/s}}$$

Referenční výšky: (výška haly bez zateplení + 200mm zateplení)

$$h = 10,42\text{m} \Rightarrow z_e = h = 10,42\text{m} \Rightarrow z_i = h = 10,42\text{m}$$

Součinitel drsnosti:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} \Rightarrow 0,76$$

předměstská oblast \Rightarrow

$$z_0 = 0,3 \text{ (terén kategorie III)}$$

$$z_{0,II} = 0,05$$

$$z = z_e = z_i = 10\text{m} \geq z_{min} = 5 \text{ m}$$

součinitel terénu:

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,215$$

součinitel ortografie:

$$c_{0(z)} = 1,0$$

charakteristická střední rychlost větru:

$$v_{m(z)} = c_{r(z)} \cdot c_{0(z)} \cdot v_{b,0} = 19 \text{ m/s}$$

maximální dynamický tlak:

$$q_{p(z)} = [1 + 7 \cdot I_{v(z)}] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2 = c_{e(z)} \cdot q_b$$

při uvažování intenzity turbulence:

$$I_{v(z)} = \frac{k_1}{c_{0(z)} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0}\right)} = 0,282$$

$$q_b(z) = 0,67 \text{ kN/m}^2$$

1.1.4.1. Tlak větru na střešní konstrukci

Výsledný tlak větru na střešní konstrukci:

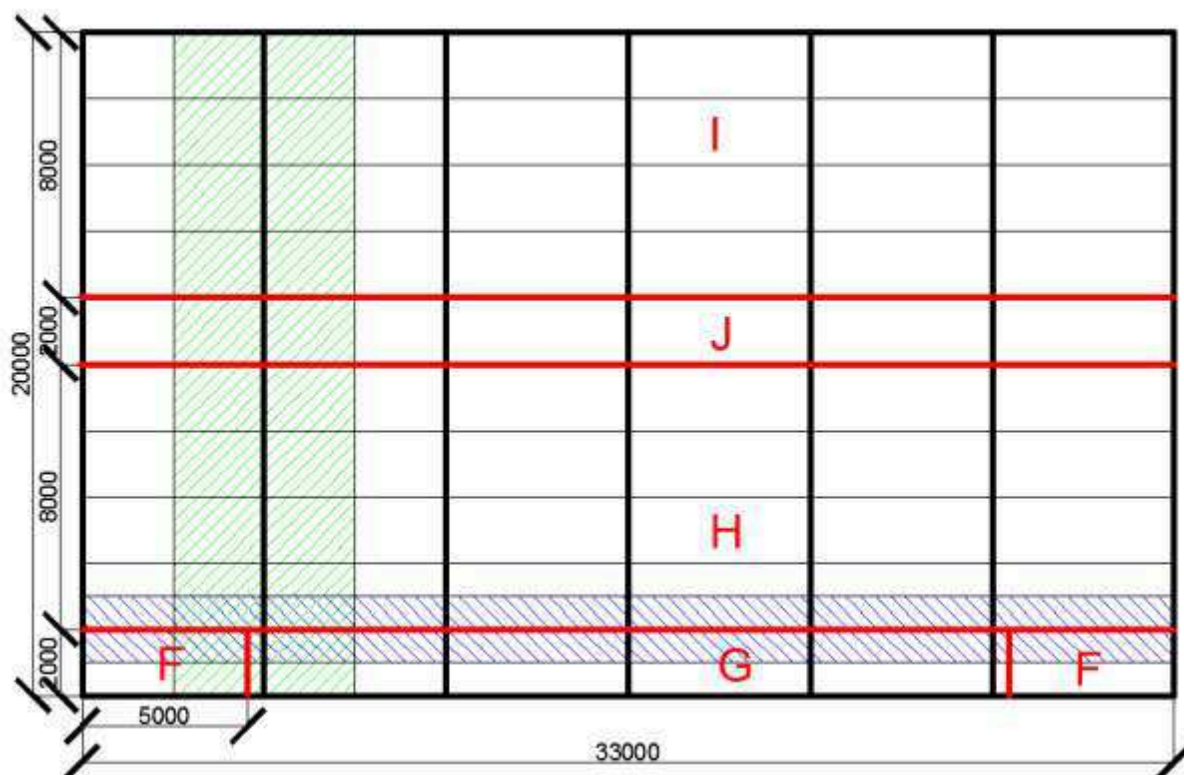
$$w_k = w_e + w_i$$

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \cdot S_F \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

S_F příčná šířka působící na vaznici

1.1.4.1.1. Součinitel vnějšího tlaku – vítr příčný

Střešní plocha vystavená působením větru $> 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$



$c_{pe,10}$ – stěnová plocha: uplatní se oblast D,E

$$\frac{h}{b} = \frac{10}{20} = 0,5$$

$$c_{pe,10}^D = 0,68$$

$$c_{pe,10}^E = -0,425$$

Poznámka: Nedostatečnou korelaci tlaků větru na návětrné a závětrné straně lze uvažovat následovně. Pro pozemní stavby s $h/d \geq 5$ se výsledná síla násobí 1. Pro pozemní stavby s $h/d \leq 1$ se výsledná síla násobí 0,85.

Střešní plocha vystavěná působením větru $> 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

$$c_{pe,10}^{-F} = -1,7 \quad c_{pe,10}^F = 0$$

$$c_{pe,10}^{-G} = -1,2 \quad c_{pe,10}^G = 0$$

$$c_{pe,10}^{-H} = -0,6 \quad c_{pe,10}^H = 0$$

$$c_{pe,10}^{-J} = 0,2 \quad c_{pe,10}^J = -0,6$$

$$c_{pe,10}^{-I} = -0,6 \quad c_{pe,10}^I = -0,6$$

součinitel vnitřního tlaku: $c_{pi}^- = -0,3 \quad c_{pi}^+ = 0,2$

- pro vítr působící v rovině vyšetřovaného rámu: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \cdot S_F \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_k^D = 0,67 \cdot (0,68 - 0,2) \cdot S_F = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,67 \cdot (-0,425 - 0,2) \cdot S_F = -0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 - 0,2) \cdot S_F = -1,27 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^F = 0,67 \cdot (0 - 0,2) \cdot S_F = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,2 - 0,2) \cdot S_F = -0,94 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^G = 0,67 \cdot (0 - 0,2) \cdot S_F = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^H = 0,67 \cdot (0 - 0,2) \cdot S_F = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-J} = 0,67 \cdot (0,2 - 0,2) \cdot S_F = 0 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^J = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-I} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^I = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2$$

- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = -0,3$

$$w_k^D = 0,67 \cdot (0,68 + 0,3) \cdot S_F = 0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,67 \cdot (-0,425 + 0,3) \cdot S_F = -0,08 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 + 0,3) \cdot S_F = -0,94 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^F = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

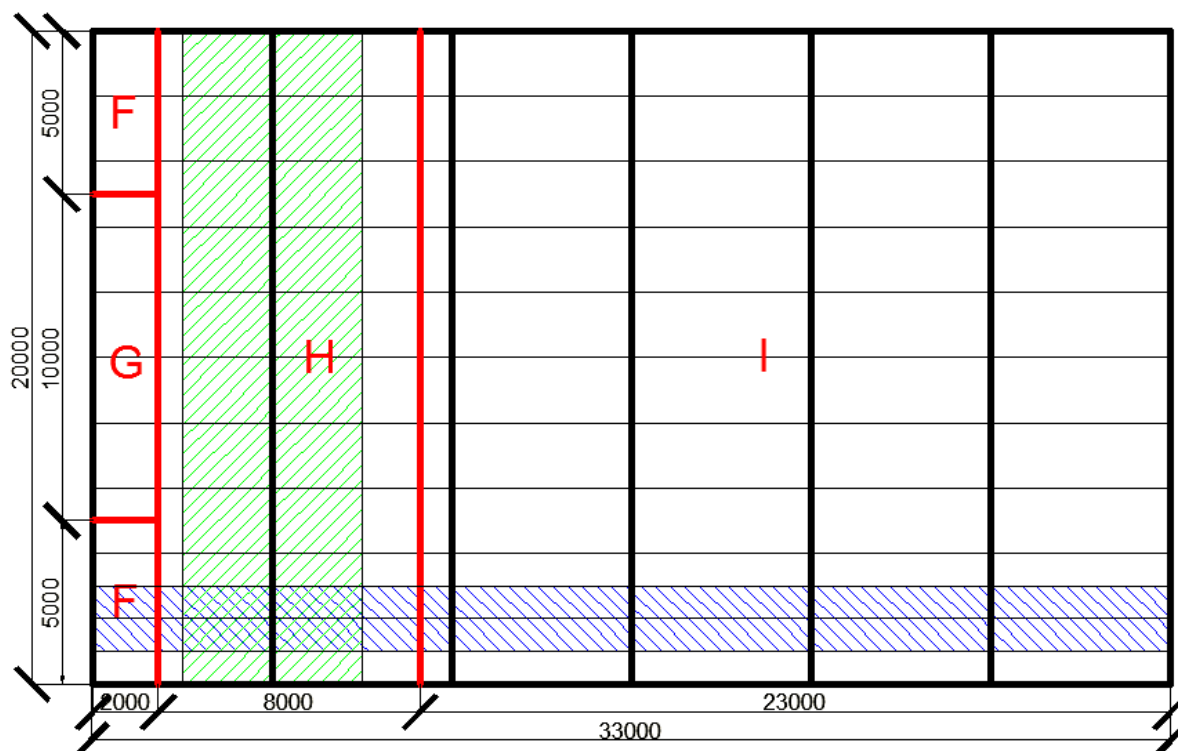
$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,2 + 0,3) \cdot S_F = -0,6 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^G = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot S_F = -0,2 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^H = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-J} = 0,67 \cdot (-0,2 + 0,3) \cdot S_F = -0,07 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^J = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot S_F = -0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-I} = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot S_F = -0,2 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^I = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot S_F = -0,2 \text{ kN/m}^2$$

1.1.4.1.2. Součinitel vnějšího tlaku –vítr podélný



$c_{pe,10}$ – stěnová plocha: uplatní se oblast AB (vypočtově zahrnutá korelace tlaků)

$$\frac{h}{b} = \frac{10}{36} = 0,3102$$

$$c_{pe,10}^A = -1,02 \quad c_{pe,10}^B = -1,19 \quad \Rightarrow \quad c_{pe,10}^{AB} = -1,105$$

Střešní plocha vystavěná působením větru $> 10 \text{ m}^2 \Rightarrow c_{pe,10}$

$$c_{pe,10}^{-F} = -1,6$$

$$c_{pe,10}^{-G} = -1,3$$

$$c_{pe,10}^{-H} = -0,7$$

$$c_{pe,10}^{-I} = -0,6$$

součinitel vnitřního tlaku: $c_{pi}^- = -0,3$ $c_{pi}^+ = 0,2$

- pro vítr působící kolmo k rovině vyšetřovaného rámu: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$w_k = q_p(z) \cdot (c_{pe} - c_{pi}) \cdot S_F \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_k^{AB} = 0,67 \cdot (-1,105 - 0,2) \cdot S_F = 0,87 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,6 - 0,2) \cdot S_F = -1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,3 - 0,2) \cdot S_F = -1 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,7 - 0,2) \cdot S_F = -0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-I} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2$$

- pro vítr působící kolmo k rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = -0,3$

Neuplatní se protože snižuje základní hodnotu sání větru.

2. Střešní plášť

Střecha je navržena jako skládaná s využitím tenkostěnných za studena tvarovaných profilů. Pro zateplení byl navržen materiál Monrock Max v tloušťce 200mm od firmy Rockwool. Návrh bude proveden použitím tabulek dle platných norem (ČSN P ENV 1993-1-3). Dále je proveden návrh profilů dodávaných firmou Kovové profily.

2.1. Horní střešní trapézový plech – návrh a posouzení

Statické schéma: podpory tvoří Z tenkostěnné vaznice s půdorysnými roztečemi 2m.

Vzhledem k malému sklonu střechy nebudeme muset tíhové zatížení rozkládat do příslušných směrů. ($2\text{m}/\cos 7^\circ = 2,015\text{ m}$).

Zatížení do plechů se z distančních profilů roznáší spojitě.

Roznášecí šířka zatížení $S_F = 1\text{m}$.

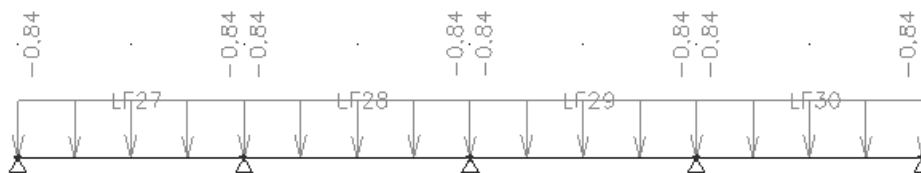
Počítáno zde bude s nejnepříznivějšími hodnotami zatížení na horní trapézový plech.

Sání větru (příčné a podélné)

Sníh + tlak větru

Zatěžovací stavy:

Sníh: - $S_{d,h1} = 0,84\text{kN/m}^2$

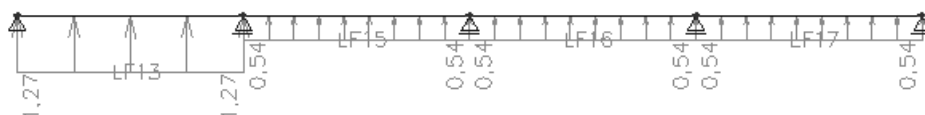
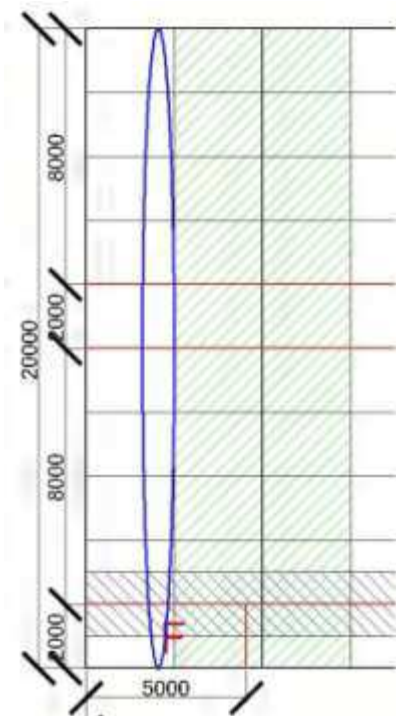


Vítr:

- Výsledný příčný tlak větru na střešní konstrukci: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 - 0,2) \cdot S_F = -1,27 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2$$

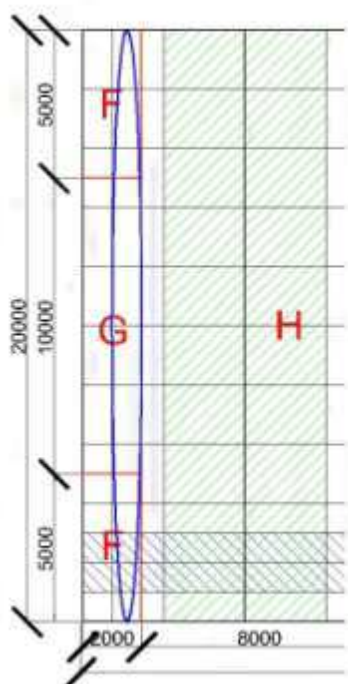
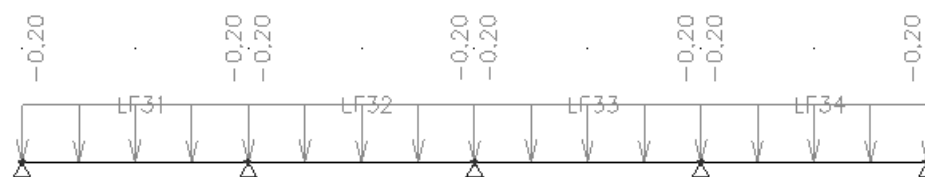


- Výsledný příčný tlak větru na střešní konstrukci: $c_{pi}^- = -0,3$

$$w_k^F = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

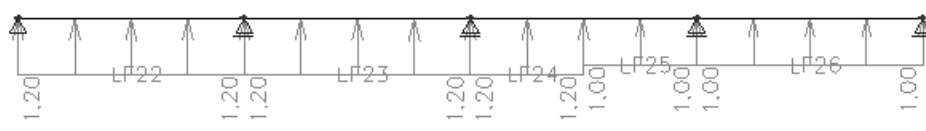
$$w_k^H = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$



- Výsledný podélný tlak větru na střešní konstrukci: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,6 - 0,2) \cdot S_F = -1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,3 - 0,2) \cdot S_F = -1 \text{ kN/m}^2$$



Na horní trapézový plech byly provedeny následující kombinace zatěžovacích stavů:

1. Sání příčného větru se součinitelem 1,5
2. Sání podélného větru se součinitelem 1,5
3. Zatížení sněhem se součinitelem 1,5 + tl. větru se součinitelem 0,9

Kombinace zatěžovacích stavů a jejich výsledné max. hodnoty ohybových moment:

Kombinace zatěžovacích stavů	Max. ohybový moment v poli (kN/m)	Max. ohybový moment nad podporou (kN/m)
Sání příčného větru	-0,66	0,64
Sání podélného větru	-0,56	0,77
Zatížení sněh + tl. větru	0,45	-0,61

Návrh:

Max. ohybový moment v krajním poli: $M_{sd} = 0,66 \text{ kN/m}$

$$M_{sd} = 0,0778 \cdot w_{k,eq} \cdot L^2 = \text{kN/m}$$

$$w_{k,eq} = \frac{M_{sd}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{-0,66}{0,0778 \cdot 2^2} = -2,12 \text{ kN/m}$$

Dle tabulek výrobce Ruukki navrhuji Trapézový plech **Ruukki T35-40-1035- 70mm**

Negativní poloha (pro gravitační zatížení)

$$\text{MSÚ: } q_{Rd} = 4,46 \text{ kN/m}$$

$$\text{MSP: } q_{Rd} = 2,32 \text{ kN/m (dovolená deformace } L/200)$$

Posouzení:

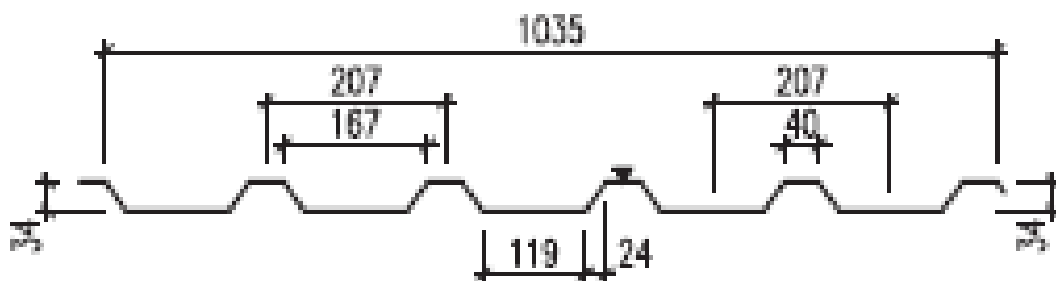
$$M_{Ed} = 0,0778 \cdot w_{k,eq} \cdot L^2 = \text{kN/m}$$

$$M_{Ed} = 0,0778 \cdot 2,32 \cdot 2^2 = 0,72 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = 0,66 \text{ kN/m} \leq M_{Ed} = 0,72 \text{ kN/m} \quad \textbf{VYHOVUJE(rezerva 9\%)}$$

2.1.1. Posouzení trapézového plechu ručním výpočtem:

Rukki T35-40-1035- 70mm (pozitivní poloha)



H = 34 mm

a = 119 mm

b = 40 mm

c = 24 mm

t = 0,7 mm

2.1.1.1. Stanovení účinného průřezu stojiny

Účinná šířka rovinné části příčného řezu b_p

$b_p = 39,83$ mm

Určení plochy tenkostěnného profilu (stanovení účinného průřezu)

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{Q_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{39,83}{0,7} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 4}} = 1,22$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 1,22 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

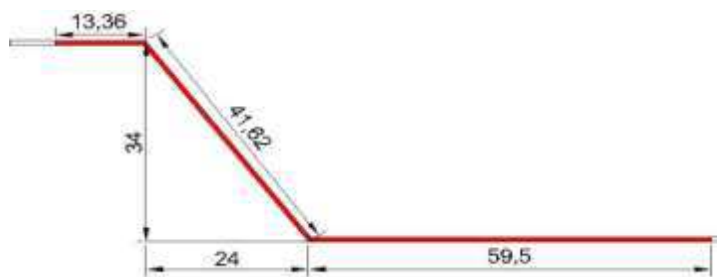
Součinitel boulení

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/1,22) / 1,22 = 0,671$$

výpočet efektivní šířky pro pásnici

$$b_{eff} = 0,5 \cdot \rho \cdot b_p = 0,5 \cdot 0,671 \cdot 39,83 = 13,36 \text{ mm}$$



$$y_d = \frac{13,36 \cdot 0,7 \cdot 33,65 + 41,62 \cdot 0,7 \cdot 17 + 59,5 \cdot 0,7 \cdot 0,35}{13,36 \cdot 0,7 + 41,62 \cdot 0,7 + 59,5 \cdot 0,7} = 10,29 \text{ mm}$$

$$y_h = 23,71 \text{ mm}$$

$$\Psi = \frac{-10,29}{23,71} = -0,434$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

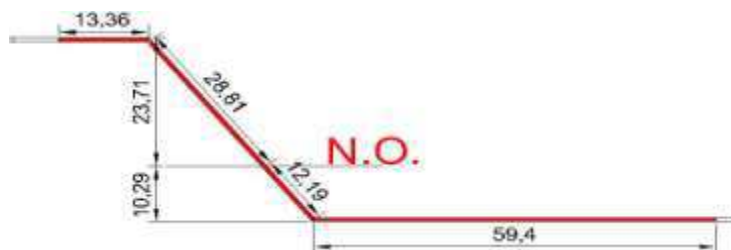
$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,434) + 9,78 \cdot (-0,434)^2 = 12,38$$

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{y_h}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_\delta}} = 1,052 \cdot \frac{23,71}{0,7} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 12,38}} = 0,383$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,413 \leq 0,673$$

... stojina neboulí a působí v celém svém rozsahu

2.1.1.2. Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu



Moment setrvačnosti k ose y - y

$$\begin{aligned}
 I_{eff} = & 2 \cdot (1/12 \cdot 13,36 \cdot 0,7^3 + 13,36 \cdot 0,7 \cdot 23,36^2 + 1/12 \cdot 0,7 \cdot 28,81^3 + \\
 & + 0,7 \cdot 28,81 \cdot (14,405 \cdot \sin(54,78))^2 + 1/12 \cdot 0,7 \cdot 12,19^3 + \\
 & + 0,7 \cdot 12,19 \cdot (6,1 \cdot \sin(54,78))^2 + 1/12 \cdot 59,4 \cdot 0,7^3 + 59,4 \cdot 0,7 \cdot 9,94^2) \\
 I_{eff} = & 2 \cdot (0,38 + 5103,29 + 1394,91 + 2792,87 + 105,66 + 211,9 + 1,69 + 4108,25) \\
 I_{eff} = & 2 \cdot 13718 = 27,437 \cdot 10^3 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Průřezový modul efektivního průřezu pro ohyb okolo osy y-y

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{y_h} = \frac{27,437 \cdot 10^3}{24,06} = 1,14 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

$$M_{eff,RD} = 5 \cdot (W_{eff} \cdot f_{yd}) = 5 \cdot (1,14 \cdot 350) = 2 \text{ kN}$$

$$M_{eff,RD} = 2 \text{ kN/m} \geq M_{SD} = 0,66 \text{ kNm}$$

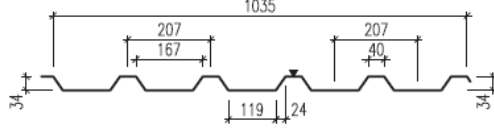
VYHOVUJE (rezerva 67%)

Porovnání ohybového momentu dle efektivního průřezu s tabulkou výrobce:

Ruukki T35-40-1035

Užitná šířka

1035 mm



Č.	Tloušťka		Hmotnost	Mez kluzu	Pevnost v tahu	Účinný moment setrvačnosti	Účinný průřezový modul	Max. ohybový moment v rozponu	Max. únosnost na střední podpěře - šířka 100 mm
	jmenovitá	jádro							
A	tjmen	tjádro	g	f_y	f_u	I	W	$M_{Rd,spn}$	F_r
B	mm	mm	kg/m ²	MPa	MPa	cm ⁴ /m	cm ³ /m	kNm/m	kN/m
1.	0.50	0.46	4.59	280.0	360.0	7.385	2.876	0.73	12.50
2.	0.60	0.56	5.50	320.0	390.0	9.512	3.765	1.14	18.40
3.	0.70	0.66	6.42	350.0	420.0	12.301	5.018	1.60	25.10

Ruční výpočet /m		Tabulka /m		Rozdíl
I_{eff}	$13,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	I	$12,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	10%
$W_{y,eff}$	$5,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	W	$5,08 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	10%
$M_{y,eff,RD}$	2 kNm/m	M_{RD}	1,60 kNm/m	20%

Komentář k výsledkům viz. závěr.

2.1.1.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou

KOMBINACE M+V (podpora)

$$M_{sd} = 0,77 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 2,22 \text{ kN}$$

Smyková únosnost stojiny

$$V_{wRd} = \frac{h_w}{\sin \varnothing} \cdot t \cdot \frac{f_{bv}}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \text{smyková pevnost vlivem boulení:}$$

$$f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb} = 0,58 \cdot 350 = 203$$

Poměrná štíhlost pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{41}{0,7} \sqrt{\frac{350}{210000}} = 0,83$$

$$V_{wRd} = \frac{33,3}{\sin 54,78} \cdot 0,7 \cdot \frac{203}{1} = 5,79 \text{ kN / 1 stojina}$$

$$V_{wRd} = 10 \cdot 5,79 = 57,9 \text{ kN / 1 celý trapézový plech}$$

$$V_{wRd} > V_{sd} \Rightarrow 57,9 \text{ kN} > 2,22 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Interakce M+V

U průřezu vystaveného kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a smykové síly V_{Ed} není potřeba žádné redukce kvůli smykové síle, pokud platí $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$. Je-li smyková síla větší než polovina smykové únosnosti, má být splněna následující rovnice:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$$

$$2,22 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 57,9 = 28,95 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.1.1.4. Lokální příčné síly

Aby nedošlo k drcení, borcení nebo vyboulení stojiny zatížené podporovou reakcí nebo jinou příčnou silou působící na pásnici, musí příčná síla F_{Ed} splnit podmínku:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

, kde $R_{w,Rd}$ je lokální příčná únosnost stojiny.

Lokální příčná únosnost $R_{w,Rd}$ jedné stojiny se má určit ze vztahu:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 l_a}{t}} \right] \left(2,4 + \left(\frac{\emptyset}{90} \right)^2 \right) / \gamma_{M1}$$

Pro kategorii 2:

$$\beta_V = \frac{[V_{Ed,1}] - [V_{Ed,2}]}{[V_{Ed,1}] + [V_{Ed,2}]} = \frac{[2,22] - [1,05]}{[2,22] + [1,05]} = 0,35$$

, kde $[V_{Ed,1}]$ a $[V_{Ed,2}]$ jsou absolutní hodnoty příčných smykových sil na každé straně lokálního zatížení nebo podporové reakce, přičemž $[V_{Ed,1}] \geq [V_{Ed,2}]$

$$\beta_V = 0,35 \geq 0,3 : l_a = 10 \text{ mm}$$

je-li podpora tvořena za studena tvarovaným jednostěnným průřezem má se l_a vzít hodnotou 10 mm

Hodnota součinitele α se získá:

Pro kategorii 2:

- pro plošné profily: $\alpha = 0,15$

$$R_{w,Rd} = 0,15 \cdot 0,7^2 \cdot \sqrt{350 \cdot 210000} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{0,7}{0,7}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 \cdot 10}{0,7}} \right] \left(2,4 + \left(\frac{54,78}{90} \right)^2 \right) / 1$$

$$R_{w,Rd} = 630 \cdot 0,9 \cdot 1,03 \cdot 2,77 / 1 = 1,617 \text{ kN}$$

$$R_{w,Rd} = 10 \cdot 1,617 = 16,17 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \Rightarrow -4,11 \text{ kN} \leq 16,17 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.1.1.5. Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce

- průřez vystavený kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a příčné síly v důsledku lokálního zatížení nebo podporové reakce F_{Ed} má splnit následující podmínky:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 5.1,14 \cdot \frac{280}{1} = 1,6 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 0,77 \text{ kN/m}$$

$$R_{w,Rd} = 16,17 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = -4,11 \text{ kN}$$

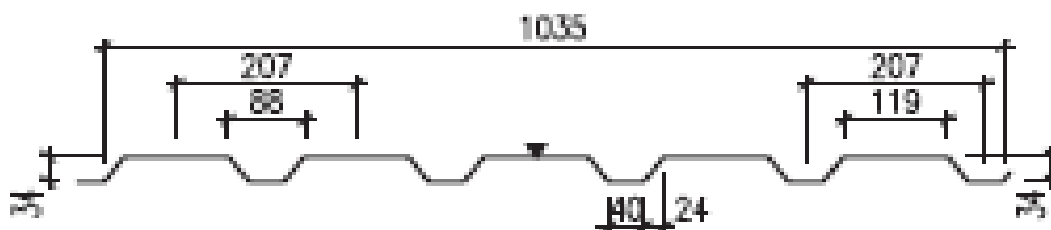
$$\frac{0,77}{1,6} + \frac{4,11}{16,17} \leq 1,25$$

$$0,73 \leq 1,25$$

VYHOVUJE

2.1.2. Posouzení obráceného trapézového plechu ručním výpočtem:

Rukki T35-119-1035- 70mm (negativní poloha)



$$H = 34 \text{ mm}$$

$$a = 119 \text{ mm}$$

$$b = 40 \text{ mm}$$

$$c = 24 \text{ mm}$$

$$t = 0,7 \text{ mm}$$

2.1.2.1. Stanovení účinného průřezu

Účinná šířka rovinné části příčného řezu b_p

$$b_p = 118,85 \text{ mm}$$

Určení plochy tenkostěnného profilu (stanovení účinného průřezu)

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{q_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{118,85}{0,7} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 4}} = 3,64$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 3,645 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

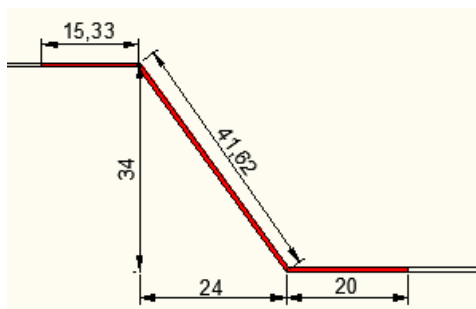
Součinitel boulení

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/3,645) / 3,645 = 0,258$$

výpočet efektivní šířky pro pásnici

$$b_{eff} = 0,5 \cdot \rho \cdot b_p = 0,5 \cdot 0,258 \cdot 118,85 = 15,33 \text{ mm}$$



$$y_d = \frac{15,33 \cdot 0,7 \cdot 33,65 + 41,62 \cdot 0,7 \cdot 17 + 20 \cdot 0,7 \cdot 0,35}{15,33 \cdot 0,7 + 41,62 \cdot 0,7 + 20 \cdot 0,7} = 15,99 \text{ mm}$$

$$y_h = 18,01 \text{ mm}$$

$$\Psi = \frac{-15,99}{18,01} = -0,888$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

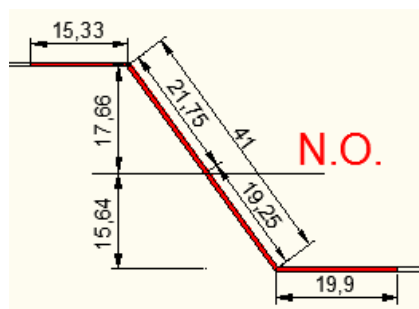
$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,888) + 9,78 \cdot (-0,888)^2 = 21,1$$

$$\overline{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{y_h}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_\delta}} = 1,052 \cdot \frac{18,01}{0,7} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 21,1}} = 0,240$$

$$\overline{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,240 \leq 0,673$$

... stojina neboulí a tzn. že působí v celém svém rozsahu

2.1.2.2. Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu



Moment setrvačnosti k ose y - y

$$I_{eff} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 15,33 \cdot 0,7^3 + 15,33 \cdot 0,7 \cdot 17,66^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,7 \cdot 21,75^3 + \right. \\ \left. + 0,7 \cdot 21,75 \cdot (10,875 \cdot \sin(54,78))^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,7 \cdot 19,25^3 + \right. \\ \left. + 0,7 \cdot 19,25 \cdot (9,625 \cdot \sin(54,78))^2 + \frac{1}{12} \cdot 19,9 \cdot 0,7^3 + 19,9 \cdot 0,7 \cdot 15,64^2 \right) \\ I_{eff} = 2 \cdot (0,44 + 3346 + 600,19 + 1201,71 + 416,11 + 833,13 + 0,57 + 3407,41) \\ I_{eff} = 2 \cdot 9805,56 = 19,61 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul efektivního průřezu pro ohyb okolo osy y-y

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{y_h} = \frac{19,61 \cdot 10^3}{18,01} = 1,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

$$M_{eff,RD} = 5 \cdot (W_{eff} \cdot f_{yd}) = 5 \cdot (1,1 \cdot 350) = 1,93 \text{ kN}$$

$$M_{eff,RD} = 1,93 \text{ kN/m} \geq M_{SD} = 0,66 \text{ kNm}$$

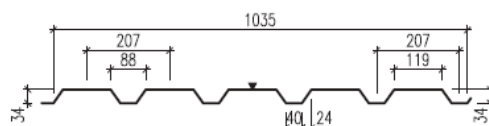
VYHOVUJE (rezerva 65%)

Porovnání ohybového momentu s tabulkou výrobce:

Ruukki T35-119-1035

Užitná šířka

1035 mm



Č.	Tloušťka		Hmotnost	Mez kluzu	Pevnost v tahu	Účinný moment setrvačnosti	Účinný průřezový modul	Max. ohybový moment v rozponu	Max. únosnost na střední podpěře - šířka 100 mm
	jmenovitá	jádro							
A	tjmen	tjádro	g	f_y	f_u	I	W	$M_{Rd,spn}$	F_r
B	mm	mm	kg/m ²	MPa	MPa	cm ⁴ /m	cm ³ /m	kNm/m	kN/m
1.	0.50	0.46	4.59	280.0	360.0	6.322	3.478	0.89	12.50
2.	0.60	0.56	5.50	320.0	390.0	8.034	4.521	1.32	18.40
3.	0.70	0.66	6.42	350.0	420.0	9.854	5.636	1.79	25.10

Ruční výpočetm		Tabulkam		Rozdíl
I_{eff}	$9,81 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	I	$9,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	1%
$W_{y,eff}$	$5,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	W	$5,63 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	2%
$M_{y,eff,RD}$	1,93 kNm	M_{RD}	1,79 kNm	7%

Komentář k výsledkům viz. závěr.

2.1.2.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou

KOMBINACE M+V (podpora)

$$M_{sd} = 0,77 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 2,22 \text{ kN}$$

Smyková únosnost stojiny

$$V_{wRd} = \frac{h_w}{\sin \varnothing} \cdot t \cdot \frac{f_{bv}}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \text{smyková pevnost vlivem boulení:}$$

$$f_{bv} = 0,58 \cdot f_{yb} = 0,58 \cdot 350 = 203$$

Poměrná štíhlost pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{41}{0,7} \sqrt{\frac{350}{210000}} = 0,83$$

$$V_{wRd} = \frac{33,3}{\sin 54,78} \cdot 0,7 \cdot \frac{203}{1} = 5,79 \text{ kN / 1 stojina}$$

$$V_{wRd} = 10 \cdot 5,79 = 57,9 \text{ kN / 1 celý trapézový plech}$$

$$V_{wRd} > V_{sd} \Rightarrow 57,9 \text{ kN} > 2,22 \text{ kN} \quad \dots \text{VYHOVUJE}$$

Interakce M+V

U průřezu vystaveného kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a smykové síly V_{Ed} není potřeba žádné redukce kvůli smykové síle, pokud platí $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$. Je-li smyková síla větší než polovina smykové únosnosti, má být splněna následující rovnice:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} + \left[1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{pl,Rd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$$

$$2,22 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 57,9 = 28,95 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.1.2.4. Lokální příčné síly

Aby nedošlo k drcení, borcení nebo vyboulení stojiny zatížené podporovou reakcí nebo jinou příčnou silou působící na pásnici, musí příčná síla F_{Ed} splnit podmínku:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

, kde $R_{w,Rd}$ je lokální příčná únosnost stojiny.

Lokální příčná únosnost $R_{w,Rd}$ jedné stojiny se má určit ze vztahu:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 l_a}{t}} \right] \left(2,4 + \left(\frac{\emptyset}{90} \right)^2 \right) / \gamma_{M1}$$

Pro kategorii 2:

$$\beta_V = \frac{[V_{Ed,1}] - [V_{Ed,2}]}{[V_{Ed,1}] + [V_{Ed,2}]} = \frac{[2,22] - [1,05]}{[2,22] + [1,05]} = 0,35$$

, kde $[V_{Ed,1}]$ a $[V_{Ed,2}]$ jsou absolutní hodnoty příčných smykových sil na každé straně lokálního zatížení nebo podporové reakce, přičemž $[V_{Ed,1}] \geq [V_{Ed,2}]$

$$\beta_V = 0,35 \geq 0,3 : l_a = 10 \text{ mm}$$

- je-li podpora tvořena za studena tvarovaným jednostěnným průřezem má se l_a vzít hodnotou 10 mm

Hodnota součinitele α se získá:

Pro kategorii 2:

- pro plošné profily: $\alpha = 0,15$

$$R_{w,Rd} = 0,15 \cdot 0,7^2 \cdot \sqrt{350 \cdot 210000} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{0,7}{0,7}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 \cdot 10}{0,7}} \right] \left(2,4 + \left(\frac{54,78}{90} \right)^2 \right) / 1$$

$$R_{w,Rd} = 630 \cdot 0,9 \cdot 1,03 \cdot 2,77 / 1 = 1,617 \text{ kN}$$

$$R_{w,Rd} = 10 \cdot 1,617 = 16,17 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \Rightarrow -4,11 \text{ kN} \leq 16,17 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.1.2.5. Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce

- průřez vystavený kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a příčné síly v důsledku lokálního zatížení nebo podporové reakce F_{Ed} má splnit následující podmínky:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

$$M_{c,Rd} = 5 \cdot W_{eff} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 5 \cdot 1,1 \cdot \frac{280}{1} = 1,54 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = 0,77 \text{ kN/m}$$

$$R_{w,Rd} = 16,17 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = -4,11 \text{ kN}$$

$$\frac{0,77}{1,54} + \frac{4,11}{16,17} \leq 1,25$$

$$0,75 \leq 1,25$$

VYHOVUJE

2.2. Spodní střešní trapézový plech - návrh + posouzení

Statické schéma: podpory tvoří Z tenkostěnné vaznice s půdorysnými roztečemi 2m.

Vzhledem k malému sklonu střechy nebudeme muset tíhové zatížení rozkládat do příslušných směrů. ($2\text{m}/\cos 7^\circ = 2,015\text{ m}$)

Zatížení do plechů se z distančních profilů roznáší spojitě.

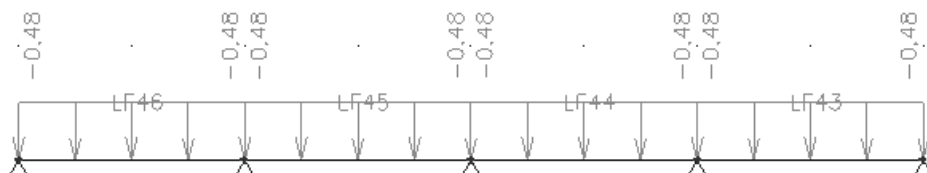
Počítáme zde s nejnepříznivějšími hodnotami zatížení na spodní plech.

Sání větru (příčný a podélný)

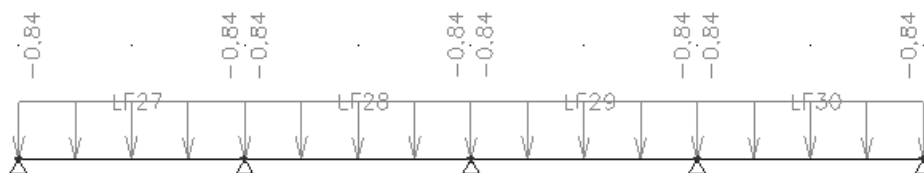
Stálé + zatížení užité + tlak větru

Zatěžovací stavy:

Stálé	kN/m ²	Součinitel	kN/m ²
T35-40-1035	0,064	1,35	0,086
Rockwool Rock Max	0,414	1,35	0,56
	0,478	CELKEM	0,646



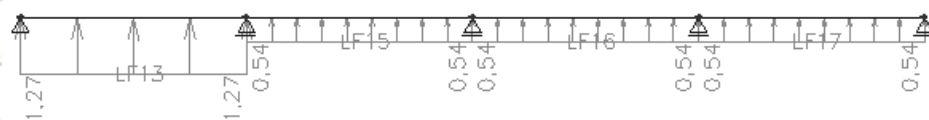
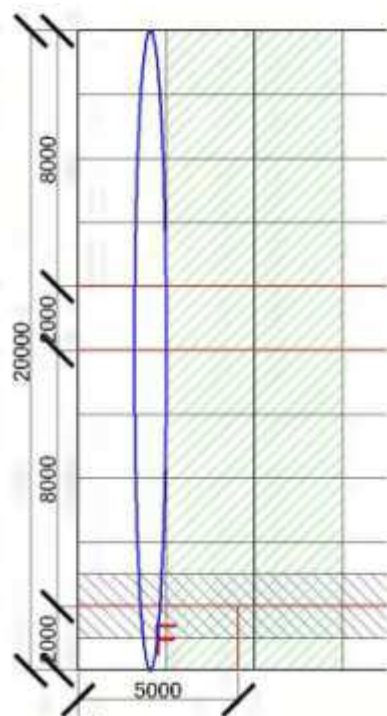
Sníh: - $S_{d,h1} = 0,84\text{kN/m}^2$



Vítr:

- Výsledný příčný tlak větru na střešní konstrukci: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 - 0,2) \cdot S_F = -1,27 \text{ kN/m}^2$$



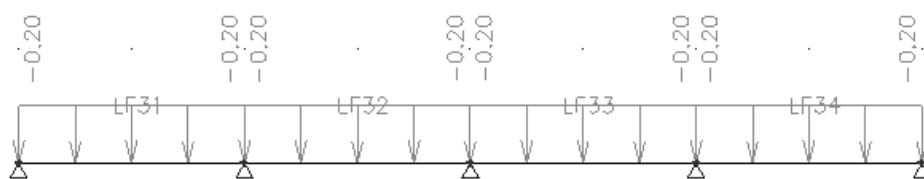
$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot S_F = -0,54 \text{ kN/m}^2$$

- Výsledný příčný tlak větru na střešní konstrukci: $c_{pi}^- = -0,3$

$$w_k^F = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

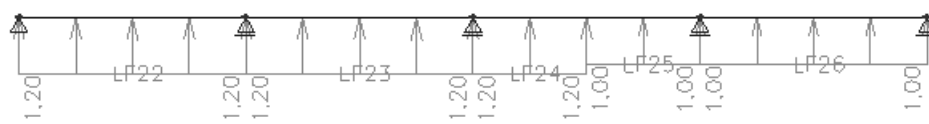
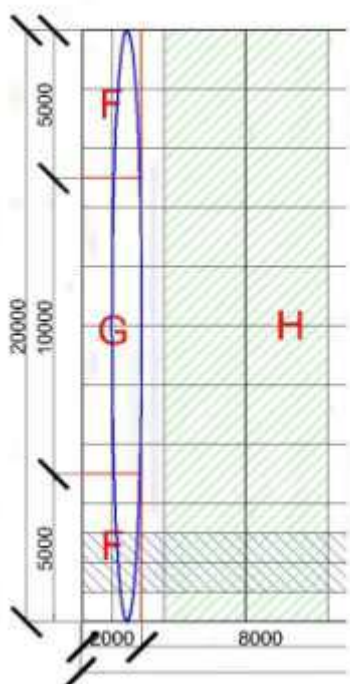
$$w_k^H = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot S_F = 0,2 \text{ kN/m}^2$$



- Výsledný podélný tlak větru na střešní konstrukci: $c_{pi}^+ = 0,2$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,6 - 0,2) \cdot S_F = -1,2 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,3 - 0,2) \cdot S_F = -1 \text{ kN/m}^2$$



Kombinace zatěžovacích stavů na spodní trapézový plech:

1. Pouze sání příčného větru se součinitelem 1,5
2. Pouze sání podélného větru se součinitelem 1,5
3. Stálé zatížení se součinitelem 1,35 + zatížení sněhem se součinitelem 1,5 + tl. větru se součinitelem 0,9

Kombinace zatěžovacích stavů a jejich výsledné max. hodnoty

Kombinace zatěžovacích stavů	Max. ohybový moment v poli (kN/m)	Max. ohybový moment nad podporou (kN/m)
Sání příčného větru	-0,66	0,64
Sání podélného větru	-0,56	0,77
Stálé + sníh + tl. větru	0,65	-0,89

Navržení:

Největší ohybový moment v krajním poli: $M_{sd} = 0,66 \text{ kN/m}$

$$M_{sd} = 0,0778 \cdot w_{k,eq} \cdot L^2 = \text{kN/m}$$

$$w_{k,eq} = \frac{M_{sd}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{0,66}{0,0778 \cdot 2^2} = 2,12 \text{ kN/m}$$

Dle tabulek výrobce Rukki navrhuji Trapézový plech **Rukki T40-119-925- 50mm**

Negativní poloha (pro gravitační zatížení)

$$\text{MSÚ: } q_{Rd} = 2,51 \text{ kN/m}$$

$$\text{MSP: } q_{Rd} = 2,31 \text{ kN/m (dovolená deformace } L/200)$$

Posuzení: Ohybového momentu

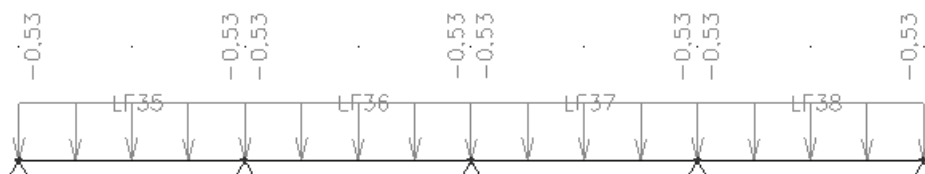
$$M_{Ed} = 0,0778 \cdot 2,31 \cdot 2^2 = 0,71 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = 0,66 \text{ kN/m} \leq M_{Ed} = 0,71 \text{ kN/m}$$

VYHOVUJE (rezerva 7%)

Skutečné stálé zatížení:

Stálé	kN/m ²	Součinitel	kN/m ²
T35-40-1035	0,064	1,35	0,086
Rockwool Rock Max	0,414	1,35	0,56
TR 40-119-925	0,052	1,35	0,07
	0,53	CELKEM	0,72

**Kombinace zatěžovacích stavů na spodní trapézový plech:**

1. Stálé min. (pouze tr. spodní plech) se součinitelem 1 + sání příčného větru se součinitelem 1,5
2. Stálé min. (pouze tr. spodní plech) se součinitelem 1 + sání podélného větru se součinitelem 1,5
3. Stálé max. zatížení se součinitelem 1,35 + zatížení sněhem se součinitelem 1,5 + tl. větru se součinitelem 0,9

Kombinace zatěžovacích stavů a jejich výsledné max. hodnoty

Kombinace zatížení se součinitelem	Podporová reakce u max. smykové síly	Maximální smyková síla (kN)	Ohybový moment v poli (kN/m)	Ohybový moment nad podporou (kN/m)
Stálé max. (1,35) + sněh (1,5) + tl. větru (0,9)	4,92	-2,61	0,67	-0,92
Stálé min. (1)+ příčný vítr (sání) (1,5)	-3,15	2,16	-0,64	0,61
Stálé min. + podélný vítr (sání) (1,5)	-3,99	2,12	-0,54	0,75

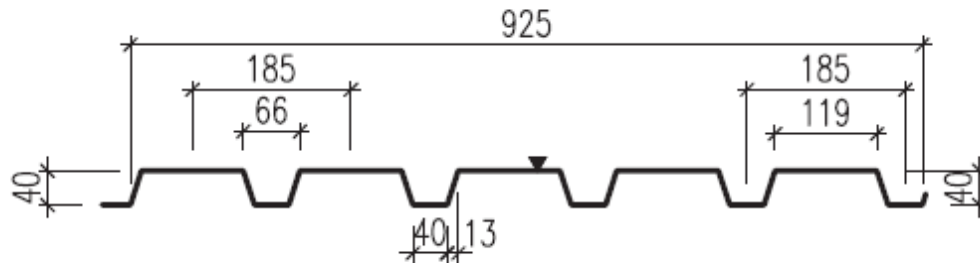
Max. ohybový moment v krajním poli: $M_{Sd} = 0,67 \text{ kN/m}$

Max. ohybový moment nad podporou: $M_{Sd} = -0,92 \text{ kN/m}$

Max. smyková síla: $V_{Sd} = -2,61 \text{ kN}$

2.2.1. Posouzení trapézového plechu ručním výpočtem:

Rukki T40-119-925- 50mm (negativní poloha)



H = 40 mm

a = 66 mm

b = 119 mm

c = 13 mm

t = 0,5 mm

2.2.1.1. Stanovení účinného průřezu

Účinná šířka rovinné části příčného řezu b_p

$b_p = 118,85 \text{ mm}$

Určení plochy tenkostěnného profilu (stanovení účinného průřezu)

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{Q_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{118,85}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{280}{210000 \cdot 4}} = 4,56$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 4,596 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

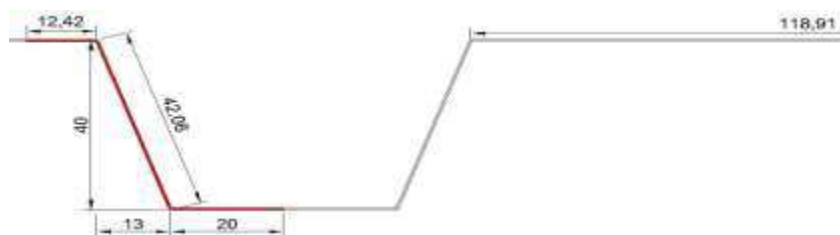
Součinitel boulení

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/4,56) / 4,56 = 0,209$$

výpočet efektivní šířky pro pásnici

$$b_{eff} = 0,5 \cdot \rho \cdot b_p = 0,5 \cdot 0,209 \cdot 118,85 = 12,42 \text{ mm}$$



$$y_d = \frac{12,42 \cdot 0,5 \cdot 39,75 + 42,06 \cdot 0,5 \cdot 20 + 20 \cdot 0,5 \cdot 0,25}{12,42 \cdot 0,5 + 42,06 \cdot 0,5 + 20 \cdot 0,5} = 17,99 \text{ mm}$$

$$y_h = 22,01 \text{ mm}$$

$$\Psi = \frac{-17,99}{22,01} = -0,817$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

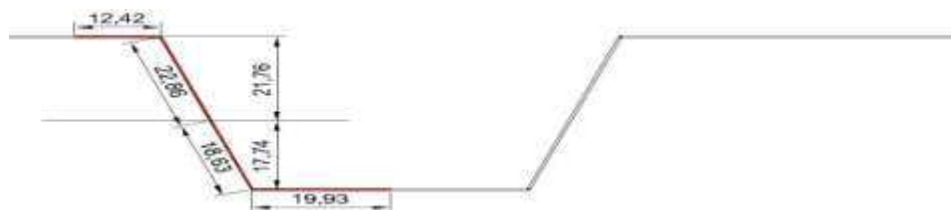
$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,817) + 9,78 \cdot (-0,817)^2 = 19,48$$

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{y_h}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_\delta}} = 1,052 \cdot \frac{22,01}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{280}{210000 \cdot 19,48}} = 0,383$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,383 \leq 0,673$$

... stojina neboulí a tzn. že působí v celém svém rozsahu

2.2.1.2. Výpočet ohybového momentu dle efektivního



Moment setrvačnosti k ose y – y

$$\begin{aligned}
 I_{eff} &= 2 \cdot (1/12 \cdot 12,42 \cdot 0,5^3 + 12,42 \cdot 0,5 \cdot 21,76^2 + 1/12 \cdot 0,5 \cdot 22,86^3 + \\
 &\quad + 0,5 \cdot 22,86 \cdot (11,43 \cdot \sin(72)) ^2 + 1/12 \cdot 0,5 \cdot 18,63^3 + \\
 &\quad + 0,5 \cdot 18,63 \cdot (9,32 \cdot \sin(72))^2 + 1/12 \cdot 19,93 \cdot 0,5^3 + 19,93 \cdot 0,5 \cdot 17,74^2) \\
 I_{eff} &= 2 \cdot (0,13 + 2940,42 + 497,76 + 1350,67 + 269,42 + 731,86 + 0,21 + 3136,06) \\
 I_{eff} &= 2 \cdot 8926 = 17,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Průřezový modul efektivního průřezu pro ohyb okolo osy y-y

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{y_h} = \frac{17,85 \cdot 10^3}{22,01} = 0,811 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

$$M_{eff,RD} = 5 \cdot (W_{eff} \cdot f_{yd}) = 5 \cdot (0,811 \cdot 280) = 1,135 \text{ kN/0,925m}$$

$$M_{eff,RD} = 1,135 \text{ kN/0,925m} \Rightarrow 1,23 \text{ kN/m} \geq M_{SD} = 0,67 \text{ kNm}$$

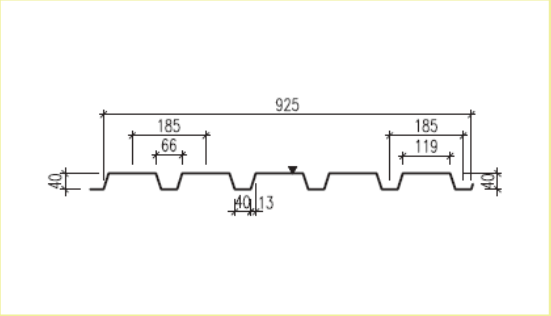
VYHOVUJE (rezerva 45%)

Porovnání ohybového momentu dle efektivního průřezu s tabulkou výrobce:

Ruukki T40-119-925

Užitná šířka

925 mm



Č.	Tloušťka		Hmotnost	Mez kluzu	Pevnost v tahu	Účinný moment setrvačnosti	Účinný průřezový modul	Max. ohybový moment v rozponu	Max. únosnost na střední podpěře - šířka 100 mm
	jménovitá	jádro							
A	tjmen	tjádro	g	f _y	f _u	I	W	M _{Rd.spn}	F _r
B	mm	mm	kg/m ²	MPa	MPa	cm ⁴ /m	cm ³ /m	kNm/m	kN/m
1.	0.50	0.46	5.23	280.0	360.0	10.526	4.789	1.22	16.00
2.	0.60	0.56	6.28	320.0	390.0	13.360	6.217	1.81	23.50
3.	0.70	0.66	7.32	350.0	420.0	16.370	7.790	2.48	32.10

Ruční výpočet		Tabulka		Rozdíl
I_{eff}	$8,93 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	I	$10,52 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	15%
$W_{y,eff}$	$4,06 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	W	$4,79 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	15%
$M_{y,eff,RD}$	1,23 kNm	M_{RD}	1,22 kNm/m	1%

Komentář k výsledkům viz. závěr.

2.2.1.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou

KOMBINACE M+V (podpora)

$$M_{sd} = -0,92 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 2,61 \text{ kN}$$

Smyková únosnost stojiny

$$V_{wRd} = \frac{h_w}{\sin \varnothing} \cdot t \cdot \frac{f_{bv}}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \text{smyková pevnost vlivem boulení:}$$

$$f_{bv} = 0,48 \cdot \frac{f_{yb}}{\bar{\lambda}_w} = 0,48 \cdot \frac{280}{1,05} = 128$$

Poměrná štíhlost pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{41,49}{0,5} \sqrt{\frac{280}{210000}} = 1,05$$

$$V_{wRd} = \frac{39,5}{\sin 72} \cdot 0,5 \cdot \frac{128}{1} = 2,66 \text{ kN / 1 stojina}$$

$$V_{wRd} = 10 \cdot 2,66 = 26,6 \text{ kN / 1 celý trapézový poleh}$$

$$V_{wRd} > V_{sd} \Rightarrow 26,6 \text{ kN} > 2,61 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Interakce M+V

U průřezu vystaveného kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a smykové síly V_{Ed} není potřeba žádné redukce kvůli smykové síle, pokud platí $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$. Je-li smyková síla větší než polovina smykové únosnosti, má být splněna následující rovnice:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{yRd}} + \left[1 - \frac{M_{fRd}}{M_{plRd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$$

$$2,61 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 26,6 = 13,3 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.2.1.4. Lokální příčné síly

Aby nedošlo k drcení, borcení nebo vyboulení stojiny zatížené podporovou reakcí nebo jinou příčnou silou působící na pásnici, musí příčná síla F_{Ed} splnit podmínku: $F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$

, kde $R_{w,Rd}$ je lokální příčná únosnost stojiny.

Lokální příčná únosnost $R_{w,Rd}$ jedné stojiny se má určit ze vztahu:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 l_a}{t}} \right] (2,4 + \left(\frac{\emptyset}{90} \right)^2) / \gamma_{M1}$$

- je-li podpora tvořena za studena tvarovaným jednostěnným průřezem má se l_a vzít hodnotou 10 mm

Hodnota součinitele α se získá:

Pro kategorii 2:

$$\beta_V = \frac{[V_{Ed,1}] - [V_{Ed,2}]}{[V_{Ed,1}] + [V_{Ed,2}]} = \frac{[2,61] - [2,30]}{[2,61] + [2,30]} = 0,06$$

, kde $[V_{Ed,1}]$ a $[V_{Ed,2}]$ jsou absolutní hodnoty příčných smykových sil na každé straně lokálního zatížení nebo podporové reakce, přičemž $[V_{Ed,1}] \geq [V_{Ed,2}]$

$$\beta_V = 0,06 < 0,2 : l_a = s_s$$

- je-li podpora tvořena za studena tvarovaným jednostěnným průřezem má se l_a vzít hodnotou 10 mm

Hodnota součinitele α se získá:

- pro plošné profily: $\alpha = 0,15$

$$R_{w,Rd} = 0,15 \cdot 0,5^2 \cdot \sqrt{280 \cdot 210000} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{0,5}{0,5}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 \cdot 10}{0,5}} \right] (2,4 + \left(\frac{72}{90} \right)^2) / 1$$

$$R_{w,Rd} = 287,6 \cdot 0,9 \cdot 1,13 \cdot 3,04 / 1 = 889 \text{ N} = 0,889 \text{ kN}$$

$$R_{w,Rd} = 10 \cdot 0,889 = 8,89 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \Rightarrow 4,92 \text{ kN} \leq 8,89 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.2.1.5. Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce

- průřez vystavený kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a příčné síly v důsledku lokálního zatížení nebo podporové reakce F_{Ed} má splnit následující podmínky:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 5 \cdot (0,811) \cdot \frac{280}{1} = 1,135 \text{ kN/0,925m} = 1,23 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = -0,92 \text{ kN/m}$$

$$R_{w,Rd} = 8,89 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 4,92 \text{ kN}$$

$$\frac{0,92}{1,23} + \frac{4,92}{8,89} \leq 1,25$$

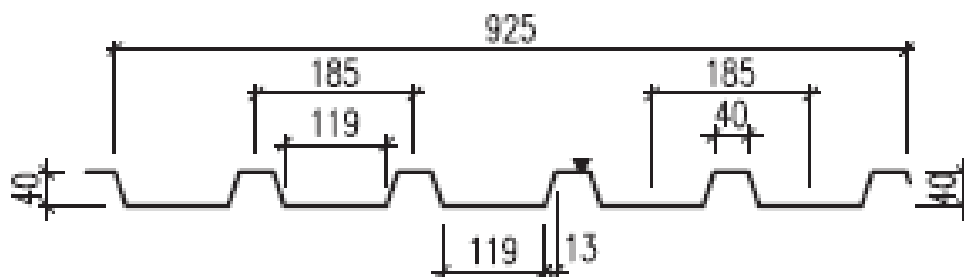
$$1,29 \leq 1,25$$

VYHOVUJE

Pro další porovnání bude počítáno s obráceným trapézovým plechem. Viz. posouzení obráceného spodního trapézového plechu str.56

2.2.2. Posouzení obráceného spodního trapézového plechu:

Rukki T40-40-925- 50mm (pozitivní poloha)



H = 40 mm

a = 40 mm

b=66 mm

c = 13 mm

t = 0,5 mm

2.2.2.1. Stanovení účinného průřezu

Účinná šířka rovinné části příčného řezu b_p

$$b_p = 39,85 \text{ mm}$$

Určení plochy tenkostěnného profilu (stanovení účinného průřezu)

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{G_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{39,85}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{280}{210000 \cdot 4}} = 1,53$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 1,537 \leq 0,673$$

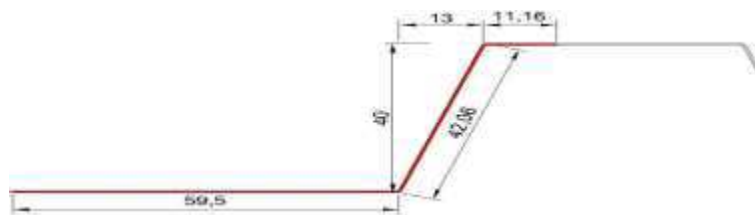
... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/1,53) / 1,53 = 0,56$$

výpočet efektivní šířky pro pásnici

$$b_{eff} = 0,5 \cdot \rho \cdot b_p = 0,5 \cdot 0,56 \cdot 39,85 = 11,16 \text{ mm}$$



$$y_d = \frac{11,16 \cdot 0,5 \cdot 39,75 + 42,06 \cdot 0,5 \cdot 20 + 59,5 \cdot 0,5 \cdot 0,25}{11,16 \cdot 0,5 + 42,06 \cdot 0,5 + 59,5 \cdot 0,5} = 11,53 \text{ mm}$$

$$y_h = 28,47 \text{ mm}$$

$$\Psi = \frac{-11,53}{28,47} = -0,405$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

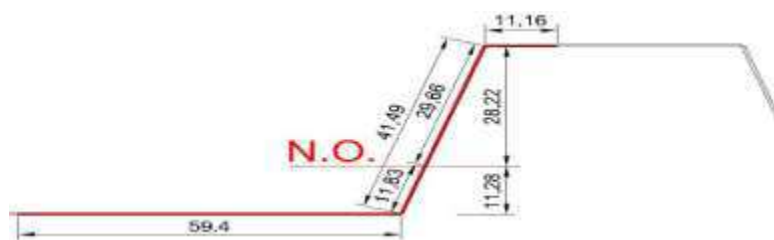
$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,405) + 9,78 \cdot (-0,405)^2 = 11,96$$

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{y_h}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_\delta}} = 1,052 \cdot \frac{11,16}{0,5} \cdot \sqrt{\frac{280}{210000 \cdot 11,96}} = 0,248$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,248 \leq 0,673$$

... stojina neboulí a působí v celém svém rozsahu

2.2.2.2. Výpočet ohybového momentu dle efektivního průřezu



Moment setrvačnosti k ose y – y

$$I_{eff} = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 11,16 \cdot 0,5^3 + 11,16 \cdot 0,5 \cdot 28,22^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,5 \cdot 29,66^3 + \right. \\ \left. + 0,5 \cdot 29,66 \cdot (\sin(72) \cdot 14,83)^2 + \frac{1}{12} \cdot 0,5 \cdot 11,83^3 + \right. \\ \left. + 0,5 \cdot 11,83 \cdot (\sin(72) \cdot 5,92)^2 + \frac{1}{12} \cdot 59,4 \cdot 0,5^3 + 59,4 \cdot 0,5 \cdot 11,28^2 \right)$$

$$I_{eff} = 2 \cdot (0,12 + 4443,74 + 1087,18 + 2950,1 + 68,98 + 187,5 + 0,62 + 3778,98)$$

$$I_{eff} = 2 \cdot 12517 = 25,03 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul efektivního průřezu pro ohyb okolo osy y-y

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{y_h} = \frac{25,03 \cdot 10^3}{28,47} = 0,88 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

$$M_{eff, RD} = 5 \cdot (W_{eff} \cdot f_{yd}) = 5 \cdot (0,88 \cdot 280) = 1,23 \text{ kN/0,925m}$$

$$M_{eff, RD} = 1,23 \text{ kN/0,925m} \Rightarrow 1,33 \text{ kN/m} \geq M_{SD} = 0,67 \text{ kNm}$$

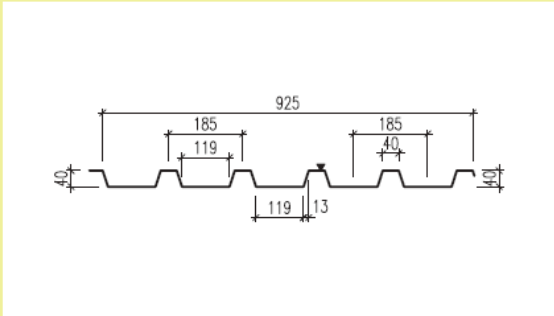
VYHOVUJE (rezerva 50%)

Porovnání ohybového momentu dle efektivního průřezu s tabulkou výrobce:

Ruukki T40-40-925

Užitná šířka

925 mm



Č.	Tloušťka	Hmotnost	Mez kluzu	Pevnost v tahu	Účinný moment setrvačnosti	Účinný průřezový modul	Max. ohybový moment v rozponu	Max. únosnost na střední podpěře - šířka 100 mm
	jmenovitá	jádro						
A	t _{jmen}	t _{jádro}	g	f _y	f _u	I	W	M _{Rd,spn}
B	mm	mm	kg/m ²	MPa	MPa	cm ⁴ /m	cm ³ /m	kNm/m
1.	0.50	0.46	5.23	280.0	360.0	12.223	3.952	1.01
2.	0.60	0.56	6.28	320.0	390.0	15.731	5.177	1.57
3.	0.70	0.66	7.32	350.0	420.0	20.511	6.998	2.23

Ruční výpočetm		Tabulkam		Rozdíl
I_{eff}	$12,51 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	I	$12,22 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$	2%
$W_{y,eff}$	$4,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	W	$3,95 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	10%
$M_{y,eff,RD}$	1,34 kNm	M_{RD}	1,01 kNm/m	24%

Komentář k výsledkům viz. závěr.

2.2.2.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou

KOMBINACE M+V (podpora)

$$M_{sd} = -0,92 \text{ kNm}$$

$$V_{sd} = 2,61 \text{ kN}$$

Smyková únosnost stojiny

$$V_{yRd} = \frac{h_w}{\sin \varnothing} \cdot t \cdot \frac{f_{bv}}{\gamma_{M0}} \Rightarrow \text{smyková pevnost vlivem boulení:}$$

$$f_{bv} = 0,48 \cdot \frac{f_{yb}}{\bar{\lambda}_w} = 0,48 \cdot \frac{280}{1,05} = 128$$

Poměrná štíhlost pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{41,49}{0,5} \sqrt{\frac{280}{210000}} = 1,05$$

$$V_{wRd} = \frac{39,5}{\sin 72} \cdot 0,5 \cdot \frac{128}{1} = 2,66 \text{ kN / 1 stojina}$$

$$V_{wRd} = 10 \cdot 2,66 = 26,6 \text{ kN / 1 celý trapézový plech}$$

$$V_{wRd} > V_{sd} \Rightarrow 26,6 \text{ kN} > 2,61 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Interakce M+V

U průřezu vystaveného kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a smykové síly V_{Ed} není potřeba žádné redukce kvůli smykové síle, pokud platí $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$. Je-li smyková síla větší než polovina smykové únosnosti, má být splněna následující rovnice:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{yRd}} + \left[1 - \frac{M_{fRd}}{M_{plRd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$$

$$2,61 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 26,6 = 13,3 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.2.2.4. Lokální příčné síly

Aby nedošlo k drcení, borcení nebo vyboulení stojiny zatížené podporovou reakcí nebo jinou příčnou silou působící na pásnici, musí příčná síla F_{Ed} splnit podmínku:

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd}$$

, kde $R_{w,Rd}$ je lokální příčná únosnost stojiny.

Lokální příčná únosnost $R_{w,Rd}$ jedné stojiny se má určit ze vztahu:

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{r}{t}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 l_a}{t}} \right] \left(2,4 + \left(\frac{\emptyset}{90} \right)^2 \right) / \gamma_{M1}$$

- je-li podpora tvořena za studena tvarovaným jednostěnným průřezem má se l_a vzít hodnotou 10 mm

Hodnota součinitele α se získá:

Pro kategorii 2:

$$\beta_V = \frac{[V_{Ed,1}] - [V_{Ed,2}]}{[V_{Ed,1}] + [V_{Ed,2}]} = \frac{[2,61] - [2,30]}{[2,61] + [2,30]} = 0,06$$

, kde $[V_{Ed,1}]$ a $[V_{Ed,2}]$ jsou absolutní hodnoty příčných smykových sil na každé straně lokálního zatížení nebo podporové reakce, přičemž $[V_{Ed,1}] \geq [V_{Ed,2}]$

$$\beta_V = 0,06 < 0,2 : l_a = s_s$$

- je-li podpora tvořena za studena tvarovaným jednostěnným průřezem má se l_a vzít hodnotou 10 mm

- pro plošné profily: $\alpha = 0,15$

$$R_{w,Rd} = 0,15 \cdot 0,5^2 \cdot \sqrt{280 \cdot 210000} \left(1 - 0,1 \sqrt{\frac{0,5}{0,5}} \right) \left[0,5 + \sqrt{\frac{0,02 \cdot 10}{0,5}} \right] \left(2,4 + \left(\frac{72}{90} \right)^2 \right) / 1$$

$$R_{w,Rd} = 287,55 \cdot 0,9 \cdot 1,13 \cdot 3,04 / 1 = 889 \text{ N} = 0,889 \text{ kN}$$

$$R_{w,Rd} = 10 \cdot 0,889 = 8,89 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq R_{w,Rd} \Rightarrow 4,92 \text{ kN} \leq 8,89 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

2.2.2.5. Kombinace ohybového momentu a lokálního zatížení nebo podporové reakce

- průřez vystavený kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a příčné síly v důsledku lokálního zatížení nebo podporové reakce F_{Ed} má splnit následující podmínky:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

$$M_{c,Rd} = W_{eff} \frac{f_{yb}}{\gamma_{M0}} = 5 \cdot (0,88) \cdot \frac{280}{1} = 1,135 \text{ kN}/0,925\text{m} = 1,33 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = -0,92 \text{ kN/m}$$

$$R_{w,Rd} = 8,89 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 4,92 \text{ kN}$$

$$\frac{0,92}{1,33} + \frac{4,92}{8,89} \leq 1,25$$

$$1,24 \leq 1,25$$

VYHOVUJE

Obrácený trapézový plech vyhovuje ve všech požadavcích. Je proto nutné použít osazení obráceného trapézového plechu.

3. Vaznice

3.1. Návrh a posouzení vaznice

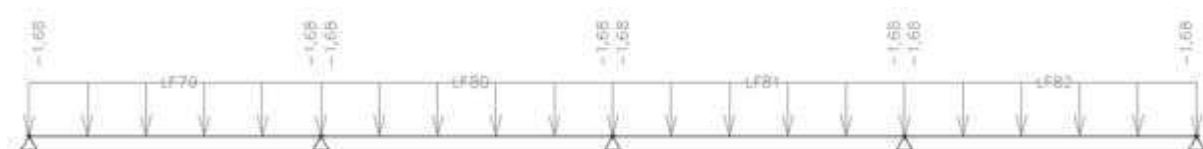
Statické schéma: podpory střešního opláštění tvoří tenkostěnné vaznice Z s půdorysnou výpočtovou šířkou $S_F=2$ m. Podpory pro tenkostěnné vaznice jsou z příhradového vazného trámu osově od sebe vzdáleny 5,5 m.

Zatížení + schéma:

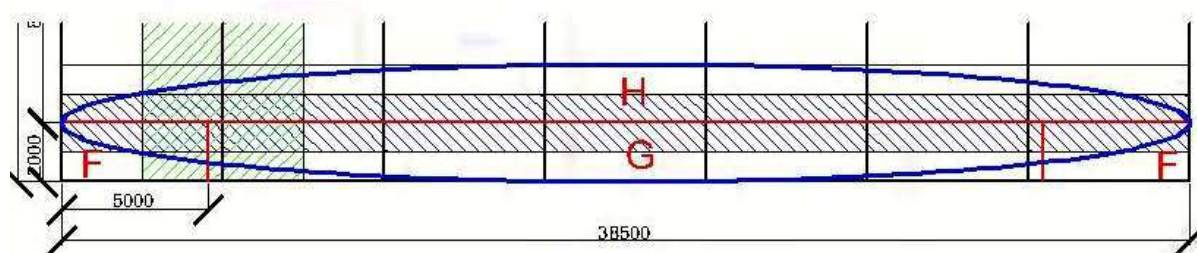
Stálé	kN/m ²	Součinitel	kN/m ²
TR 35/260/0,75	0,064	1,35	0,086
Rockwool Rock Max	0,414	1,35	0,56
TR 40-119-925	0,052	1,35	0,070
	0,53	CELKEM	0,72

Užitné	0,75	1,5	1,125
---------------	-------------	------------	--------------

Sníh: - $s_{d,h1} = 0,84 \cdot 2 = 1,68 \text{ kN/m}^2$



Vítr: - Výsledný příčný tlak větru na střešní konstrukci:



- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = 0,2$

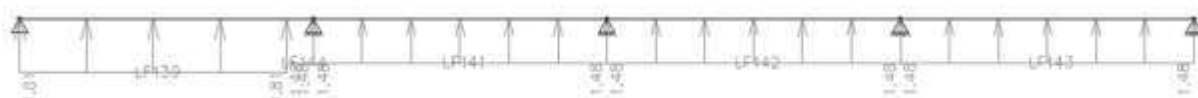
$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 - 0,2) \cdot 2 = -2,54 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^F = 0,67 \cdot (0 - 0,2) \cdot 2 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,2 - 0,2) \cdot 2 = -1,88 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^G = 0,67 \cdot (0 - 0,2) \cdot 2 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot 2 = -1,08 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^H = 0,67 \cdot (0 - 0,2) \cdot 2 = -0,26 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-F,H} = (-2,54 - 1,08) / 2 = -1,81 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G,H} = (-1,88 - 1,08) / 2 = -1,48 \text{ kN/m}^2$$



- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = -0,3$

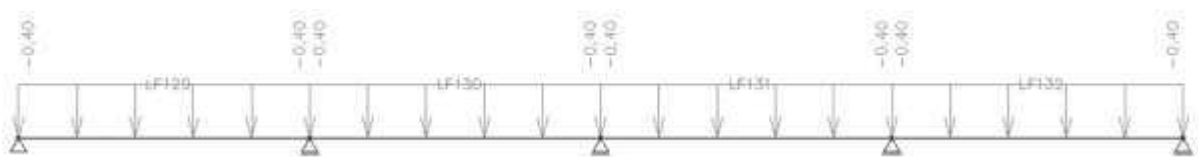
$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 + 0,3) \cdot 2 = -1,88 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^F = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot 2 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,2 + 0,3) \cdot 2 = -1,2 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^G = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot 2 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

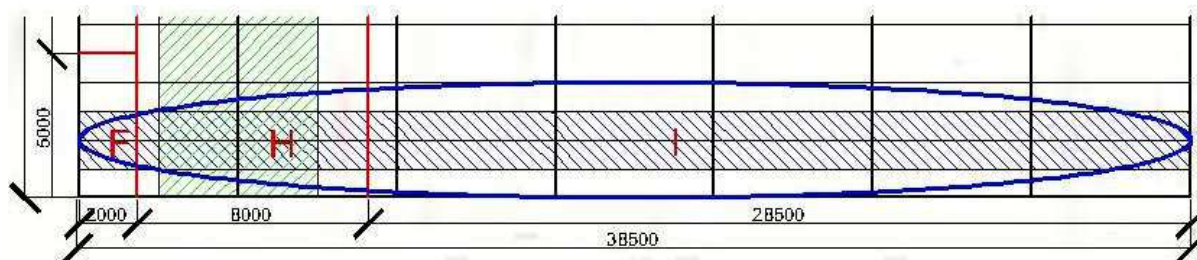
$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot 2 = -0,4 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^H = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot 2 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-F,H} = (-1,88 - 0,4) / 2 = -1,14 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-G,H} = (-1,2 - 0,4) / 2 = -0,8 \text{ kN/m}^2$$



- Výsledný podélný tlak větru na střešní konstrukci:

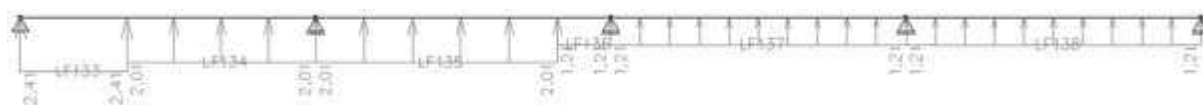


- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = 0,2$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,6 - 0,2) \cdot 2 = -2,41 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,7 - 0,2) \cdot 2 = -1,21 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-I} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot 2 = -1,08 \text{ kN/m}^2$$



- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = -0,3$

... s hodnotou nepočítám, protože snižuje vliv sání na danou konstrukci

Předpokládám, že kombinace stálého zatížení + sníh + tl. větr je největším možným zatížením na danou konstrukci:

Zatížení	Ohybový moment v krajním poli (kN/m)
Stálé max. + sníh + tl.větru	8,40

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{8,40}{0,0778 \cdot 5,5^2} = 3,57 \text{ kN}$$

Dle tabulek výrobce Rukki navrhuji vaznici Z200- 2mm

Negativní poloha (pro gravitační zatížení):

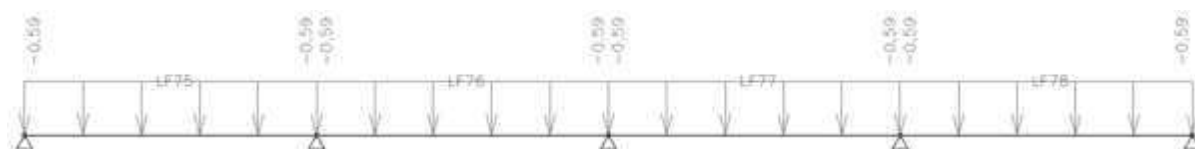
$$\text{MSÚ: } q_{RD} = 4,18 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{MSP: } q_{RD} = 3,89 \text{ kN/m}^2 \text{ (dovolená deformace } L/200)$$

$$\text{Pozitivní poloha (sání větru): } \text{MSÚ: } q_{RD} = 4,05 \text{ kN/m}^2$$

SKUTEČNÉ ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE + schéma stálého max. zatížení:

Stálé	kN/m ²	Součinitel	kN/m ²
TR 35/40/1035	0,064	1,35	0,086
Rockwool Rock Max	0,414	1,35	0,56
TR 40-119-925	0,052	1,35	0,070
Vaznice Z200	0,058	1,35	0,079
	0,588	CELKEM	0,795



Na vaznici Z200 byly provedeny následující kombinace zatěžovacích stavů:

1. Stálé min. (spodní tr. plech + vaznice Z200) se součinitelem 1 + sání příčného větru se součinitelem 1,5
2. Stálé min. (spodní tr. plech + vaznice Z200) se součinitelem 1 + sání podélného větru se součinitelem 1,5
3. Stálé max. zatížení se součinitelem 1,35 + zatížení sněhem se součinitelem 1,5 + tl. větru se součinitelem 0,9

Kombinace zatěžovacích stavů a jejich výsledné max. hodnoty:

Kombinace zatížení se součinitelem	Podporová reakce u max. smykové síly	Maximální smyková síla (kN)	Ohybový moment v krajním poli (kN/m)	Ohybový moment ve druhém poli (kN/m)	Ohybový moment nad podporou (kN/m)
Stálé max. + sníh + tl. větru	23,09	-12,27	8,59	3,97	-11,88
Stálé min. + příčný vítr (sání)	-11,76	6,74	-5,20	-1,45	6,23
Stálé min. + podélný vítr (sání)	-15,82	8,40	-6,16	-2,92	8,36

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{8,59}{0,0778 \cdot 5,5^2} = 3,65 \text{ kN}$$

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{3,97}{0,0778 \cdot 5,5^2} = 1,68 \text{ kN}$$

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{-6,16}{0,0778 \cdot 5,5^2} = -2,62 \text{ kNm}$$

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{-2,92}{0,0778 \cdot 5,5^2} = -1,24 \text{ kNm}$$

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{-5,20}{0,0778 \cdot 5,5^2} = -2,21 \text{ kNm}$$

$$w_{K,eq} = \frac{M_{Ed}}{0,0778 \cdot L^2} = \frac{-1,45}{0,0778 \cdot 5,5^2} = -0,61 \text{ kNm}$$

Posouzení profilu Z200 (tl.2mm – pro krajní) s tabulkovými hodnotami:

	Max. zatížení (od max. momentu v krajním poli) [kN/m]	Návrhové zatížení (tabulkové) [kN/m]	Posouzení	Rozdíl %
Stálé + sníh + tl.větru	3,65	3,89	vyhovuje	6%
Stálé min. + příčný vítr (sání)	-2,62	-4,05	vyhovuje	35%
Stálé min. + podélný vítr (sání)	-2,21	-4,05	vyhovuje	45%

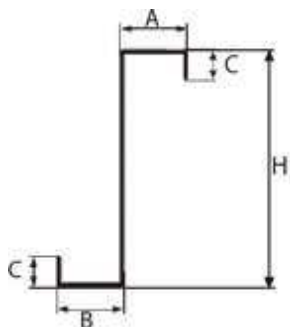
Posouzení profilu Z200 (tl.1,5mm - pro vnitřní pole) s tabulkovými hodnotami:

	Max. zatížení (od max. momentu ve vnitřním poli) [kN/m]	Návrhové zatížení (tabulkové) [kN/m]	Posouzení	Rozdíl %
Stálé + sníh + tl.větru	1,68	2,52	vyhovuje	33%
Stálé min. + příčný vítr (sání)	-1,24	-2,65	vyhovuje	53%
Stálé min. + podélný vítr (sání)	-0,61	-2,65	vyhovuje	77%

3.2. Posouzení vaznice ručním výpočtem (krajní pole)

3.2.1. Stanovení účinného průřezu

Rozměry vaznice Z200



$$H = 200 \text{ mm}$$

$$A = 71 \text{ mm}$$

$$B = 63 \text{ mm}$$

$$C = 26 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

Účinná šířka rovinné části (pásnice) příčného řezu b_p

$$b_p = A - 2 \cdot (r + t/2) + 2 \cdot 1,415 = 71 - 2 \cdot (2 + 1) + 2 \cdot 1,42 = 67,84 \text{ mm}$$

Určení plochy tenkostěnného profilu (stanovení účinného průřezu)

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{67,84}{2} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 4}} = 0,728$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,728 \quad \Rightarrow \quad 0,728 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/0,728) / 0,728 = 0,96$$

$$b_{eff} = 0,5 \cdot \rho \cdot b_p = 0,5 \cdot 0,96 \cdot 67,84 = 32,54 \text{ mm}$$

Vypočteme účinnou šířku pro jednoduchou okrajovou výztuhu

$$b_{pc} = C - 2 \cdot (r + t/2) + 2 \cdot 1,415 = 26 - (2 + 1) + 1,42 = 24,41 \text{ mm}$$

Vypočteme součinitel kritického napětí k_σ

$$b_{pc} / b_p = 24,41/67,84 = 0,36 \quad \dots 0,36 > 0,35$$

... pro $0,36 < b_{pc} / b_p < 0,6$

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{\left(\frac{b_{pc}}{b_p} - 0,35\right)^2} = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{\left(\frac{24,41}{67,84} - 0,35\right)^2} = 0,54$$

Stanovení účinného průřezu výztuhy

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{24,41}{2} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 0,54}} = 0,71 \quad \dots > 0,673$$

... výztuha boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

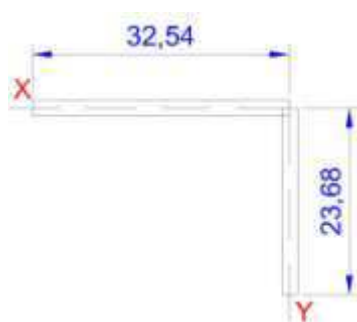
$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p = (1 - 0,22/0,71) / 0,71 = 0,97$$

$$c_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,97 \cdot 24,41 = 23,68 \text{ mm}$$

Plocha účinných průřezů

$$A_s = 2 \cdot (32,54 + 23,68) = 112,44 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště výztuhy :



$$A_1 = 32,54 \cdot 2 = 65,08 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 23,68 \cdot 2 = 47,36 \text{ mm}^2$$

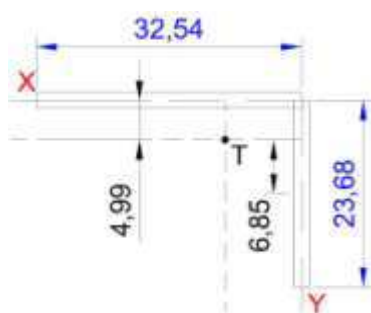
$$U_x = 47,36 \cdot 11,84 + 65,08 \cdot 0 = 560,74$$

$$U_y = 47,36 \cdot 0 + 65,08 \cdot 16,27 = 1058,85$$

$$e_x = U_y / A_s = 1058,85 / 112,44 = 9,42 \text{ mm}$$

$$e_y = U_x / A_s = 560,74 / 112,44 = 4,99 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

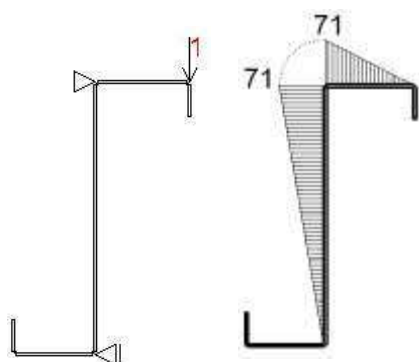


$$I_s = 1/12 \cdot 23,68^3 \cdot 2 + 2 \cdot 23,68 \cdot 6,85^2$$

$$+ 2 \cdot 32,54 \cdot 4,99^2$$

$$I_s = 6055,81 \text{ mm}^4$$

Pérová tuhost:



$$\delta = \int \frac{M \delta M}{E \cdot I}$$

$$\delta = \frac{1}{210000 \cdot 2/3} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 71^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 71^2 \cdot 200 \right] = 3,25 \text{ mm}$$

$$k = 1/\delta = 1/3,25 = 0.307 \text{ N/mm}$$

Provedeme výpočet kritického napětí

$$\sigma_{CR,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,307 \cdot 210000 \cdot 6055,81}}{112,44} = 351,46 \text{ Mpa}$$

Štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{350}{351,46}} = 1$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\phi = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (1 - 0,2) + 1^2) = 1,05$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,05 + \sqrt{1,05^2 - 1^2}} = 0,73$$

Výpočet efektivních rozměrů

Pro efektivní napětí: $\sigma_{com} = \chi \cdot f_y = 0,73 \cdot 350 = 255,5 \text{ Mpa}$

Efektivní plochu: $A_{s,eff} = \chi \cdot A_s = 0,73 \cdot 112,44 = 82,08 \text{ mm}^2$

Efektivní tloušťku: $t_{eff} = \chi \cdot t = 0,73 \cdot 2 = 1,46 \text{ mm}$

2. ITERACE

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{67,84}{2} \cdot \sqrt{\frac{255,5}{210000 \cdot 4}} = 0,622$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,622 \leq 0,673$$

... pásnice neboulí a tzn. působí v celém svém rozsahu

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{24,41}{2} \cdot \sqrt{\frac{255,5}{210000 \cdot 0,54}} = 0,609$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,609 \leq 0,673$$

... výztuha neboulí a tzn. že působí v celém svém rozsahu

Stanovení účinného průřezu stojiny



$$y_d = \frac{82,08 \cdot 194,01 + 32,54 \cdot 2 \cdot 199 + 200 \cdot 2 \cdot 100 + 63 \cdot 2 \cdot 1 + 26 \cdot 2 \cdot 13}{82,08 + 32,54 \cdot 2 + 200 \cdot 2 + 63 \cdot 2 + 26 \cdot 2} = 96,08 \text{ mm}$$

$$y_h = 103,92 \text{ mm}$$

$$\Psi = \frac{-96,08}{103,92} = -0,92$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,92) + 9,78 \cdot (-0,92)^2 = 21,87$$

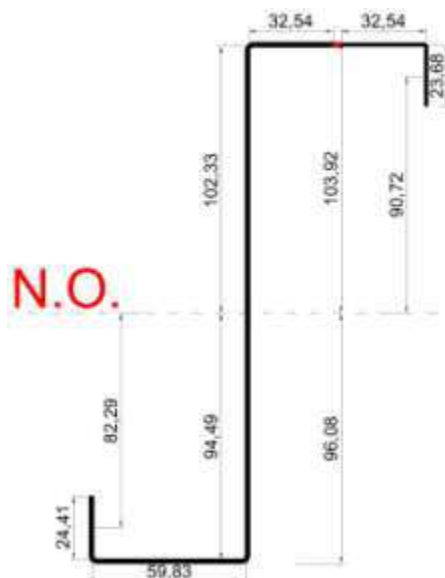
$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{y_h}{t} \cdot \sqrt{\frac{Q_{com}}{E \cdot K_\delta}} = 1,052 \cdot \frac{103,92}{2} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 21,87}} = 0,48$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,48 \leq 0,673$$

... stojina neboulí a tzn. že působí v celém svém rozsahu

3.2.2. Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

Moment setrvačnosti k ose y - y



$$I_{eff} = 1/12 \cdot 1,46 \cdot 23,68^3 + 1,46 \cdot 23,68 \cdot 90,72^2 + 1/12 \cdot 32,54 \cdot 1,46^3 + 32,54 \cdot 1,46 \cdot 102,92^2 +$$

$$+ 1/12 \cdot 32,54 \cdot 2^3 + 32,54 \cdot 2 \cdot 102,92^2 + 1/12 \cdot 2 \cdot 102,33^3 + 2 \cdot 102,33 \cdot 51,17^2 +$$

$$+ 1/12 \cdot 2 \cdot 94,49^3 + 2 \cdot 94,49 \cdot 47,245^2 + 1/12 \cdot 59,83 \cdot 2^3 + 59,83 \cdot 2 \cdot 95,08^2 +$$

$$+ 1/12 \cdot 2 \cdot 24,41^3 + 2 \cdot 24,41 \cdot 82,29^2$$

$$I_{eff} = 1615,54 + 284538,24 + 8,44 + 503233,98 + 21,69 + 689361,62 + 178590,22$$

$$+ 535875,38 + 140606,79 + 421820,37 + 39,9 + 1081751,1 + 2424,1 + 330591,66$$

$$I_{eff} = 2193245,11 + 1977233,92 = 4170479 \text{ mm}^4 = 4,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Průřezový modul efektivního průřezu pro ohyb okolo osy y-y

$$W_{y,eff} = \frac{I_{eff}}{y_h} = \frac{4,17 \cdot 10^6}{103,92} = 40127 \text{ mm}^3 = 40,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

$$M_{y,eff,RD} = W_{eff} \cdot f_{yd} = 40,1 \cdot 350 = 14,03 \text{ kNm} \geq M_{SD} = 8,41 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE (rezerva 40%)

Porovnání ohybového momentu dle efektivního průřezu s tabulkou výrobce:

Profile Z											
No.	Profile	Thickness	Moment of inertia gross	Sectional modulus gross	Moment of inertia effective, Top flange compressed	Sectional modulus effective, Top flange compressed	Moment of inertia effective, Bottom flange compressed	Sectional modulus effective, Bottom flange compressed	Radius of gyration	Max. span bending moment, Top flange compressed	Max. span bending moment, Bottom flange compressed
A	H	t _{nom}	I _y	W _y	I _{y,eff}	W _{y,eff}	I _{y,eff}	W _{y,eff}	i _y	M _{b,Rd}	M _{b,Rd}
B	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	kNm	kNm
1.	Z100	1,00	31,155	6,124	27,265	5,152	27,953	5,093	3,918	1,639	1,621
2.		1,20	37,607	7,378	35,872	7,189	36,656	7,046	3,918	2,287	2,242
3.		1,50	47,262	9,244	47,262	9,244	47,262	9,244	3,917	2,941	2,941
4.		2,00	63,289	12,319	63,289	12,319	63,289	12,319	3,915	3,920	3,920
5.	Z120	1,00	47,935	7,857	40,746	6,259	41,744	6,209	4,647	1,992	1,976
6.		1,20	57,866	9,469	53,833	8,769	54,948	8,623	4,647	2,790	2,744
7.		1,50	72,727	11,871	72,725	11,871	72,240	11,715	4,646	3,777	3,728
8.		2,00	97,403	15,834	97,403	15,834	97,403	15,834	4,642	5,038	5,038
9.	Z150	1,00	81,548	10,705	66,447	7,914	68,023	7,883	5,700	2,518	2,508
10.		1,20	98,450	12,906	88,250	11,128	89,942	10,981	5,700	3,541	3,494
11.		1,50	123,746	16,190	120,463	16,083	119,756	15,206	5,699	5,117	4,838
12.		2,00	165,761	21,616	165,761	21,616	165,634	21,584	5,695	6,878	6,868
13.	Z200	1,50	333,533	32,753	272,775	24,306	279,452	24,328	7,787	7,734	7,741
14.		2,00	447,103	43,798	421,015	41,018	427,145	40,294	7,784	13,051	12,821
15.		2,50	560,349	54,756	559,365	54,733	556,964	54,105	7,783	17,415	17,215
16.		3,00	673,275	65,630	673,275	65,630	673,275	65,630	7,778	20,882	20,882

	Vypočítaný	Tabulka	Rozdíl
I_{eff}	$4,17 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$4,21 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	0,9%
$W_{y,eff}$	$40,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$41,01 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	2,2%
$M_{y,eff,RD}$	14,03 kNm	13,05 kNm	7%

Komentář k výsledkům viz. závěr.

3.2.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou

KOMBINACE M+V (podpora)

$$M_{Ed} = 11,88 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 12,27 \text{ kN}$$

smyková pevnost vlivem boulení:

$$f_{bv} = 0,48 \cdot \frac{f_{yb}}{\bar{\lambda}_w} = 0,48 \cdot \frac{350}{1,39} = 121$$

Poměrná štíhlost pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{198}{2} \sqrt{\frac{350}{210000}} = 1,39$$

$$V_{wRd} = \frac{198}{\sin 90} \cdot 2 \cdot \frac{121}{1} = 47,91 \text{ kN}$$

$$V_{wRd} > V_{Ed} \Rightarrow 47,91 \text{ kN} > 12,27 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

INTERAKCE M+V

U průřezu vystaveného kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a smykové síly V_{Ed} není potřeba žádné redukce kvůli smykové síle, pokud platí $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$. Je-li smyková síla větší než polovina smykové únosnosti, má být splněna následující rovnice:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{yRd}} + \left[1 - \frac{M_{fRd}}{M_{plRd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

Jelikož nad podporou působí dvě vaznice tak $V_{w,Rd}$ bude násobkem obou. Viz: druhá vaznice počítána na straně 98.

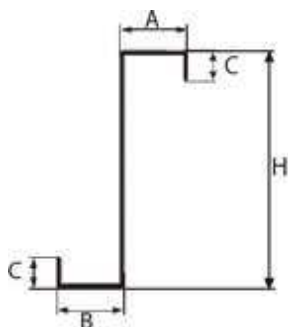
$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$$

$$12,27 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 47,91 + 0,5 \cdot 20,18 = 34,05 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Pokud by byla smyková síla menší než polovina smykové únosnosti, počítalo by se dále:

Výpočet M_{plRd} :



$$A = 71 \text{ mm}$$

$$B = 63 \text{ mm}$$

$$C = 26 \text{ mm}$$

$$H = 200 \text{ mm}$$

$$t = 2 \text{ mm}$$

Výpočet ploch

$$A_{c1} = 26 \cdot 2 = 52 \text{ mm}^2$$

$$A_{c2} = 26 \cdot 2 = 52 \text{ mm}^2$$

$$A_a = 69 \cdot 2 = 138 \text{ mm}^2$$

$$A_h = 200 \cdot 2 = 400 \text{ mm}^2$$

$$A_b = 61 \cdot 2 = 122 \text{ mm}^2$$

Plocha plnného průřezu

$$A = 52 \cdot 2 + 138 + 400 + 122 = 764 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště.

$$s_d = \frac{1}{764} \cdot (52 \cdot 187 + 138 \cdot 199 + 400 \cdot 100 + 122 \cdot 1 + 52 \cdot 13) = 102,1 \text{ mm}$$

$$s_h = 200 - 102,1 = 97,9 \text{ mm}$$

Výpočet neutrální osy

$$y_d = \frac{\frac{A}{2} - A_{c2} - A_b}{2} = 104 \text{ mm} \quad \Rightarrow \quad y_h = 96$$

Výpočet plastického průřezového modulu

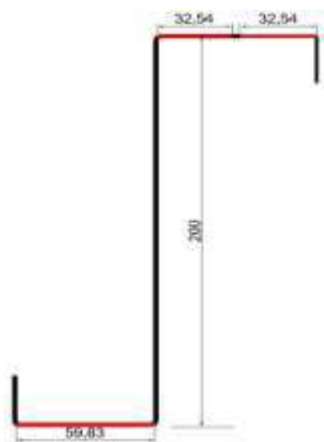
$$W_{pl,y} = (26 \cdot 2 \cdot 91 + 61 \cdot 2 \cdot 103 + 104 \cdot 2 \cdot 52) + (26 \cdot 2 \cdot 83 + 69 \cdot 2 \cdot 95 + 96 \cdot 2 \cdot 48) =$$

$$W_{pl,y} = 28114 + 26642 = 54,756 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Výpočet plastického ohybového momentu

$$M_{pl} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} = 54,756 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 19,17 \cdot 10^{-3} \text{ MNm} = 19,17 \text{ kNm}$$

Výpočet M_{fRd} = momentová únosnost průřezu sestávajícího se pouze z účinných ploch pásnic



$$A_{hp1} = 32,54 \cdot 1,46 = 47,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{hp1,2} = 32,54 \cdot 2 = 65,08 \text{ mm}^2$$

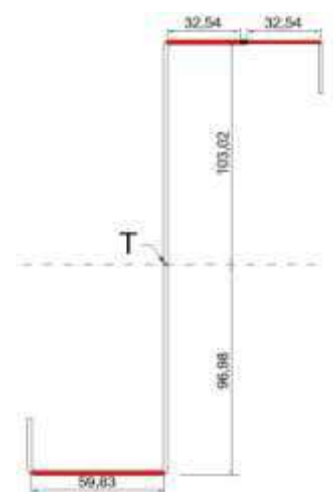
$$A_{dp} = 59,83 \cdot 2 = 119,66 \text{ mm}^2$$

$$A = 232,24 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště

$$s_d = \frac{1}{232,24} \cdot (47,5 \cdot 199 + 65,08 \cdot 199 + 119,66 \cdot 1) = 96,98 \text{ mm}$$

$$s_h = 103,02 \text{ mm}$$



Výpočet momentu setrvačnosti k ose y – y

$$I_{fRd} = \frac{1}{12} \cdot 32,54 \cdot 1,46^3 + 32,54 \cdot 1,46 \cdot 101,02^2 +$$

$$\frac{1}{12} \cdot 32,54 \cdot 2^3 + 32,54 \cdot 2 \cdot 101,02^2 +$$

$$\frac{1}{12} \cdot 59,83 \cdot 2^3 + 59,83 \cdot 2 \cdot 96,98^2 =$$

$$I_{fRd} = 8,44 + 484825,14 + 21,7 + 666512,92 + 39,89 +$$

$$+ 1125416,7 = 2,277 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{fRd} = \frac{I_{yp}}{s_h} = \frac{2,277 \cdot 10^6}{103,02} = 22,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{fRd} = W_{fRd} \cdot f_{yd} = 22,1 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 7,74 \text{ kNm}$$

Výpočet M_{fRd} , M_{pl} spolupůsobící vaznice viz na str. 100

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{yRd}} + \left[1 - \frac{M_{fRd}}{M_{plRd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

$$\frac{11,88}{14,03+10,46} + \left[1 - \frac{7,74+5,21}{19,17+14,25}\right] \cdot \left[\frac{2 \cdot 12,27}{20,18+47,91} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

$$0,48 + (0,92 \cdot 0,41) = 0,85 \leq 1,0$$

VYHOVUJE

3.2.4. Posouzení od maximálního zatížení nad podporou

- vzpěrná únosnost volné pásnice

$$\sigma_{max,Ed} = \left(\frac{1}{\chi_{LT}} \cdot \frac{M_{yEd}}{W_{yeff}} \right) + \frac{M_{fz}}{W_{fz}}$$

$$\sigma_{max,Ed} \leq f_{yd}$$

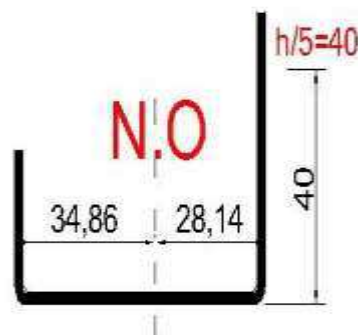
Průřezové veličiny

$$A_{fz} = 26 \cdot 2 + 61 \cdot 2 + h/5 \cdot 2 = 254 \text{ mm}$$

$$z_1 = \frac{26 \cdot 2 \cdot 1 + 61 \cdot 2 \cdot 31,5 + 40 \cdot 2 \cdot 62}{254} = 34,86 \text{ mm}$$

$$z_2 = 63 - 34,86 = 28,14 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti plného průřezu z 1/5 spolupůsobící výšky stojiny Z profilu k ose z-z



$$\begin{aligned} I_{fz} &= 1/12 \cdot 40 \cdot 2^3 + 40 \cdot 2 \cdot 27,14^2 + 1/12 \cdot 2 \cdot 26,14^3 + \\ &\quad + 2 \cdot 26,14 \cdot 13,07^2 + 1/12 \cdot 2 \cdot 32,86^3 \\ &\quad + 2 \cdot 32,86 \cdot 16,43^2 + 1/12 \cdot 26 \cdot 2^3 + 26 \cdot 2 \cdot 33,86^2 \\ I_{fz} &= 26,67 + 58926,37 + 2976,91 + 8930,73 + 5913,6 + \\ &\quad 17740,78 + 17,33 + 59617,98 = 154,15 \cdot 10^3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$W_{fz} = \frac{I_{fz}}{z_1} = \frac{154,15 \cdot 10^3}{34,86} = 4,42 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Poloměr setrvačnosti plného průřezu sestaveného z volné pásnice a spolupůsobící části stojiny pro vybočení k ose z-z

$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{154,15 \cdot 10^3}{254}} = 24,64 \text{ mm}$$

Moment od náhradního zatížení

Vliv distance průřezu dolní pásnice (spojení mezi krytinou a vaznicí)

$$K_a = \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot (1-\nu^2) \cdot h^2 \cdot (h_d + e)} = \frac{210000 \cdot 10^3 \cdot 0,002^3}{4 \cdot (1-0,3^2) \cdot 0,2^2 \cdot (0,2+0,0308)} = 49,99 \text{ kPa}$$

Vliv rotačního držení horní pásnice (příčná tuhost odpovídající distorzi příčného řezu vaznice)

p... počet šroubů (ks = 5)

$$K_b = \frac{C_p}{h^2} = \frac{0,13 \cdot 5}{0,2^2} = 16,25 \text{ kPa}$$

Příčná tuhost podepření na jednotku délky

$$K = \left(\frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_b} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{49,99 \cdot 10^3} + \frac{1}{16,25 \cdot 10^3} \right)^{-1} = 12269 \text{ Pa}$$

Součinitel pro pružnou podporu

$$R = \frac{K \cdot L^4}{\pi^4 \cdot E \cdot I_{fz}} = \frac{12269 \cdot 5,5^4}{\pi^4 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 154,15 \cdot 10^{-9}} = 3,56$$

Součinitel pro eff. pružné podepření

$$\kappa_R = \frac{1+0,0314 \cdot R}{1+0,396 \cdot R} = \frac{1+0,0314 \cdot 3,56}{1+0,396 \cdot 3,56} = 0,46$$

$$K_h = \frac{h \cdot t(b^2 + 2cb - \frac{2c^2b}{h})}{4 \cdot I_y} = \frac{0,2 \cdot 0,002(0,063^2 + 2 \cdot 0,026 \cdot 0,063 - \frac{2 \cdot 0,026^2 \cdot 0,063}{0,2})}{4 \cdot 4,18 \cdot 10^{-6}} = 0,163$$

Zatížení nad podpěrou vaznice (zat. max. stálé+sníh+tl.vítr)

$$g_{yd} = 0,59 \cdot 1,35 + 1,68 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 0,9 = 3,68$$

$$q_{nFd} = K_h \cdot g_{yd} = 0,163 \cdot 3,68 = 0,599$$

Hodnota počátečního momentu bez jakéhokoli podepření

$$M_{o,fz} = 1/8 \cdot q_{nFd} \cdot L^2 = 1/8 \cdot 0,599 \cdot 5,5^2 = 2,26 \text{ kNm}$$

$$M_{1fz} = \kappa_R \cdot M_{o,fz} = 0,46 \cdot 2,26 = 1,04 \text{ kNm}$$

Vzpěrná délka a vzpěr χ

Vzpěrná délka pásnice při proměně tlakového napětí

$$l_{fz} = \eta_1 \cdot L_a \cdot (1 + \eta_2 \cdot R^{\eta_3})^{\eta_4}$$

$$l_{fz} = 0,414 \cdot 5,5 \cdot (1 + 1,72 \cdot 3,56^{1,11})^{-0,178}$$

$$l_{fz} = 1,57 \text{ m}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{\chi_{fz}}{\lambda_1} \right) \quad \Rightarrow \quad \text{Součinitel vzpěrnosti}$$

$$\chi = \frac{l_{fz}}{i_{fz}} = \frac{1,57}{0,02464} = 63,72$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \left(\frac{E}{f_{yb}} \right)^{0,5} = \pi \cdot \left(\frac{210000}{350} \right)^{0,5} = 76,95$$

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{\chi_{fz}}{\lambda_1} \right) = \left(\frac{63,72}{76,95} \right) = 0,83$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (0,83 - 0,2) + 0,83^2) = 0,885$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti pro klopení

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,885 + \sqrt{0,885^2 - 0,83^2}} = 0,84$$

$$\sigma_d = \frac{M_{yEd}}{(0,84 \cdot W_{1y,eff}) + (0,742 \cdot W_{2y,eff})} + \frac{(M_{fz})}{(W_{1fz} + W_{2fz})}$$

Výpočet W_{2yeff} , W_{2fz} , M_{2fz} , χ_2 spolupůsobící vaznice viz na str. 96,101,102,103

$$M_{1fz} = 1,04 < M_{2fz} = 1,21 \Rightarrow 1,21 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_d = \frac{11,25 \cdot 10^3}{(0,84 \cdot 40,1 \cdot 10^3) + (0,742 \cdot 29,8 \cdot 10^3)} + \frac{1,21 \cdot 10^3}{(4,42 + 4,81) \cdot 10^3} = 201 + 136 = 337 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = 337 \text{ MPa} \dots < 350 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

3.2.5. Posouzení od minimálního zatížení v poli (klopení tlačené pásnice)

- pro výpočet využijeme minimální stálé zatížení (tr. plech + vaznice se součinitelem 1) a nejméně vhodnými podmínkami sání větru (se součinitelem 1,5)

$$M_{pole} = -6,16 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{podpora} = 8,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = \frac{M_{ysd}}{\chi \cdot W_{yeff}} + \frac{M_{fz}}{W_{fz}} \leq f_{yd}$$

$$\kappa_R = \frac{1-0,0141.R}{1+0,416.R} = \frac{1-0,0141.3,56}{1+0,416.3,56} = 0,382$$

$$K_h = \frac{h \cdot t(b^2 + 2cb - \frac{2c^2b}{h})}{4 \cdot I_y} - \frac{a}{h} = 0,163 - \frac{0,0355}{0,2} = 0,0145$$

Zatížení nad podpěrou vaznice (stálé min.+ příčný vítr)

$$g_{yd} = 0,11 - 1,81 \cdot 1,5 = -2,61 \text{ kNm}$$

Příčné zatížení volné pásnice

$$q_{nFd} = K_h \cdot g_{yd} = 0,0145 \cdot 2,61 = 0,0378 \text{ kNm}$$

$$M_{o,fz} = 0,0703 \cdot q_{nFd} \cdot L^2 = 0,0703 \cdot 0,0378 \cdot 5,5^2 = 0,08 \text{ kNm}^2$$

$$M_{fz} = \kappa_R \cdot M_{o,fz} = 0,2 \cdot 0,08 = 0,016 \text{ kNm}^2$$

Vzpěrná délka pásnice

$$l_{fz} = 0,7 \cdot L_o \cdot (1 + 13,1 \cdot R_o^{1,6})^{-0,125} = 0,7 \cdot 4,4 \cdot (1 + 13,1 \cdot 1,46^{1,6})^{-0,125}$$

$$l_{fz} = 2,06$$

Součinitel pro pružnou podporu

$$R_o = \frac{K \cdot L_o^4}{\pi^4 \cdot E \cdot I_{fz}} = \frac{12269 \cdot (0,855)^4}{\pi^4 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 154,15 \cdot 10^{-9}} = \frac{4598538}{3153278,4} = 1,46$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{l_{fz}}{i_{fz}} = \frac{2,06}{24,64 \cdot 10^{-3}} = 83,6$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{\chi_{fz}}{\lambda_1} \right)$$

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{83,6}{76,95} \right) = 1,09$$

$$\varnothing = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\varnothing = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (1,09 - 0,2) + 1,09^2) = 1,15$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\varnothing + \sqrt{\varnothing^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,15 + \sqrt{1,15^2 - 1,09^2}} = 0,66$$

$$\sigma_d = \frac{M_{ysd}}{\chi \cdot W_{yeff}} + \frac{M_{fz}}{W_{fz}} \leq f_{yd}$$

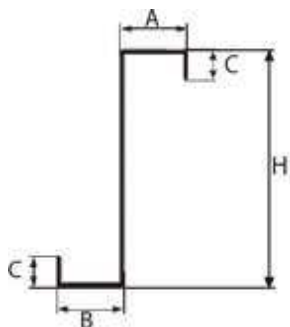
$$\sigma_d = \frac{6,16 \cdot 10^3}{0,66 \cdot 40,1 \cdot 10^3} + \frac{0,016 \cdot 10^3}{4,42 \cdot 10^3} \leq 233 + 4 = 237 \text{ Mpa} \dots \leq 350 \text{ Mpa}$$

VYHOVUJE

3.3. Posouzení vaznice ručním výpočtem (vnitřní pole):

3.3.1. Stanovení účinného průřezu

Rozměry vaznice Z200



$$H = 200 \text{ mm}$$

$$A = 62 \text{ mm}$$

$$B = 70 \text{ mm}$$

$$C = 26 \text{ mm}$$

$$t = 1,5 \text{ mm}$$

Účinná šířka rovinné části (pásnice) příčného řezu b_p

$$b_p = 59,77 \text{ mm}$$

Určení plochy tenkostěnného profilu (stanovení účinného průřezu)

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{59,77}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 4}} = 0,856$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,855 \quad \Rightarrow \quad 0,856 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/0,855) / 0,855 = 0,868$$

$$b_{eff} = 0,5 \cdot \rho \cdot b_p = 0,5 \cdot 0,868 \cdot 59,77 = 25,95 \text{ mm}$$

Účinná šířka pro jednoduchou okrajovou výztuhu

$$b_{pc} = 24,88 \text{ mm}$$

Vypočteme součinitel kritického napětí k_σ

$$b_{pc} / b_p = 24,88/59,77 = 0,42 \quad \dots 0,42 > 0,35$$

... pro $0,36 < b_{pc} / b_p < 0,6$

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{\left(\frac{b_{pc}}{b_p} - 0,35\right)^2} = 0,5 + 0,83 \sqrt[3]{\left(\frac{24,88}{59,77} - 0,35\right)^2} = 0,641$$

Stanovení účinného průřezu výztuhy

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{24,88}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 0,641}} = 0,890 \quad \dots > 0,673$$

... výztuha boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

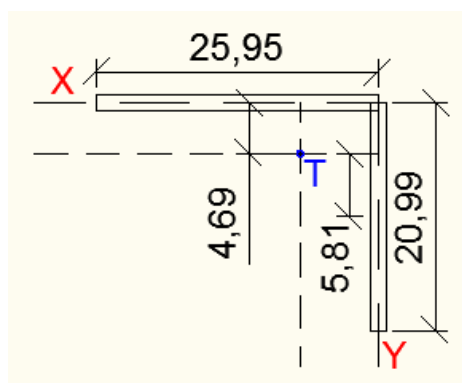
$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p = (1 - 0,22/0,89) / 0,89 = 0,844$$

$$c_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,844 \cdot 24,88 = 20,99 \text{ mm}$$

Plocha účinných průřezů

$$A_s = 1,5 \cdot (25,95 + 20,99) = 70,41 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště výztuhy :



$$A_1 = 25,95 \cdot 1,5 = 38,92 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 20,99 \cdot 1,5 = 31,49 \text{ mm}^2$$

$$U_x = 31,49 \cdot 10,525 + 38,92 \cdot 0 = 330,51$$

$$U_y = 31,49 \cdot 0 + 38,92 \cdot 13 = 504,91$$

$$e_x = U_y / A_s = 504,91 / 70,41 = 7,17 \text{ mm}$$

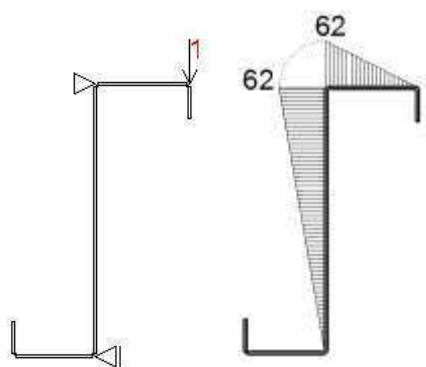
$$e_y = U_x / A_s = 332,33 / 70,41 = 4,69 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot 20,99^3 \cdot 1,5 + 1,5 \cdot 20,99 \cdot 5,81^2 + 1,5 \cdot 25,95 \cdot 4,69^2$$

$$I_s = 3073,98 \text{ mm}^4$$

Pérová tuhost:



$$\delta = \int \frac{M \delta M}{E \cdot I}$$

$$\delta = \frac{1}{210000 \cdot 2/3} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 62^3 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot 62^2 \cdot 200 \right] = 2,39 \text{ mm}$$

$$k = 1 / \delta = 1 / 2,39 = 0.417 \text{ N/mm}$$

Provedeme výpočet kritického napětí

$$\sigma_{CR,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,417 \cdot 210000 \cdot 3073,98}}{70,41} = 466,07 \text{ Mpa}$$

Štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{350}{466,07}} = 0,866$$

$$\bar{\phi} = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\phi} = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (0,87 - 0,2) + 0,87^2) = 0,918$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,918 + \sqrt{0,918^2 - 0,87^2}} = 0,816$$

Výpočet efektivních rozměrů

Pro efektivní napětí: $\sigma_{com} = \chi \cdot f_y = 0,816 \cdot 350 = 285,91 \text{ Mpa}$

Efektivní plochu: $A_{s,eff} = \chi \cdot A_s = 0,816 \cdot 70,58 = 57,51 \text{ mm}^2$

Efektivní tloušťku: $t_{eff} = \chi \cdot t = 0,816 \cdot 1,5 = 1,23 \text{ mm}$

2.ITERACE

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{59,77}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{287}{210000 \cdot 4}} = 0,773$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,773 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/0,773) / 0,773 = 0,925$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,925 \cdot 59,77 \cdot 0,5 = 27,65 \text{ mm}$$

Stanovení účinného průřezu výztuhy

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{24,88}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{287}{210000 \cdot 0,64}} = 0,807$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,807 \leq 0,673$$

... výztuha boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

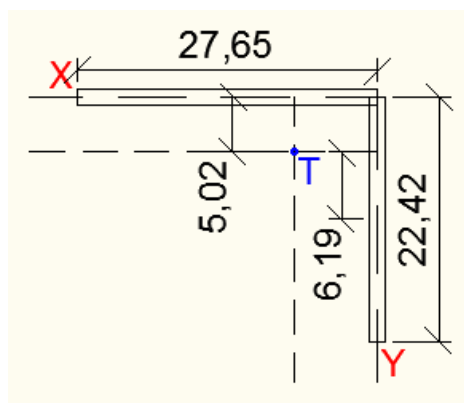
$$\rho = (1 - 0,22/\overline{\lambda_p}) / \overline{\lambda_p} = (1 - 0,22/0,81) / 0,81 = 0,901$$

$$c_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,901 \cdot 24,88 = 22,42 \text{ mm}$$

Plocha účinných průřezů

$$A_s = 1,5 \cdot (27,65 + 22,42) = 75,10 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště výztuhy :



$$A_1 = 27,65 \cdot 1,5 = 41,48 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 22,42 \cdot 1,5 = 33,63 \text{ mm}^2$$

$$U_x = 33,63 \cdot 11,21 + 41,48 \cdot 0 = 376,95$$

$$U_y = 33,63 \cdot 0 + 41,48 \cdot 13,83 = 573,40$$

$$e_x = U_y / A_s = 573,40 / 75,10 = 7,63 \text{ mm}$$

$$e_y = U_x / A_s = 376,95 / 75,10 = 5,02 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot 22,42^3 \cdot 1,5 + 1,5 \cdot 22,42 \cdot 6,19^2 + 1,5 \cdot 27,65 \cdot 5,02^2$$

$$I_s = 3741,88 \text{ mm}^4$$

Provedeme výpočet kritického napětí

$$\sigma_{CR,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,416 \cdot 210000 \cdot 3741,88}}{75,10} = 482,07 \text{ Mpa}$$

Štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{350}{482,07}} = 0,85$$

$$\bar{\sigma} = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\sigma} = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (0,85 - 0,2) + 0,85^2) = 0,90$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\bar{\sigma} + \sqrt{\bar{\sigma}^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,90 + \sqrt{0,90^2 - 0,85^2}} = 0,825$$

Výpočet efektivních rozměrů

Pro efektivní napětí: $\sigma_{com} = \chi \cdot f_y = 0,825 \cdot 350 = 288,89 \text{ Mpa}$

Efektivní plochu: $A_{s,eff} = \chi \cdot A_s = 0,825 \cdot 74,82 = 61,99 \text{ mm}^2$

Efektivní tloušťku: $t_{eff} = \chi \cdot t = 0,825 \cdot 1,5 = 1,24 \text{ mm}$

3.ITERACE

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{59,77}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{288,89}{210000 \cdot 4}} = 0,777$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,777 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/0,777) / 0,777 = 0,922$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,922 \cdot 59,77 \cdot 0,5 = 27,56 \text{ mm}$$

Stanovení účinného průřezu výztuhy

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{24,88}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{288,89}{210000 \cdot 0,64}} = 0,812$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,812 \leq 0,673$$

... výztuha boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

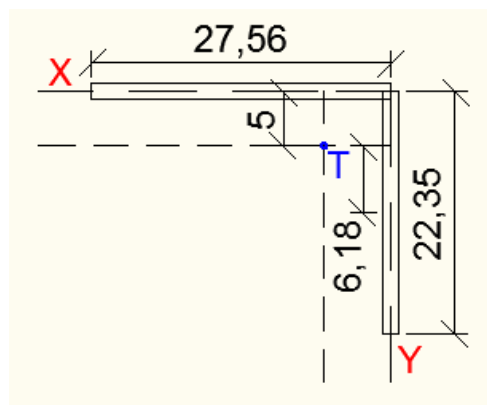
$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p = (1 - 0,22/0,812) / 0,812 = 0,898$$

$$c_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,898 \cdot 24,88 = 22,35 \text{ mm}$$

Plocha účinných průřezů

$$A_s = 1,5 \cdot (27,56 + 22,35) = 74,86 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště výztuhy :



$$A_1 = 27,56 \cdot 1,5 = 41,35 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 22,35 \cdot 1,5 = 33,52 \text{ mm}^2$$

$$U_x = 33,52 \cdot 11,07 + 41,35 \cdot 0 = 374,51$$

$$U_y = 33,52 \cdot 0 + 41,35 \cdot 13,745 = 569,82$$

$$e_x = U_y/A_s = 569,82/74,86 = 7,61 \text{ mm}$$

$$e_y = U_x/A_s = 374,51/74,86 = 5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot 22,35^3 \cdot 1,5 + 1,5 \cdot 22,35 \cdot 6,18^2 + 1,5 \cdot 27,56 \cdot 5^2$$

$$I_s = 3705,71 \text{ mm}^4$$

Provedeme výpočet kritického napětí

$$\sigma_{CR,S} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,416 \cdot 210000 \cdot 3705,71}}{74,86} = 481,26 \text{ Mpa}$$

Štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{350}{481,26}} = 0,85$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (0,85 - 0,2) + 0,85^2) = 0,91$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,85^2}} = 0,82$$

Výpočet efektivních rozměrů

Pro efektivní napětí: $\sigma_{com} = \chi \cdot f_y = 0,82 \cdot 350 = 288,74 \text{ Mpa}$

Efektivní plochu: $A_{s,eff} = \chi \cdot A_s = 0,82 \cdot 74,45 = 61,05 \text{ mm}^2$

Efektivní tloušťku: $t_{eff} = \chi \cdot t = 0,82 \cdot 1,5 = 1,23 \text{ mm}$

4.ITERACE

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{59,77}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{288,74}{210000 \cdot 4}} = 0,777$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,777 \leq 0,673$$

... pásnice boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p =$$

$$\rho = (1 - 0,22/0,777) / 0,777 = 0,922$$

$$b_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,922 \cdot 59,77 \cdot 0,5 = 27,57 \text{ mm}$$

Stanovení účinného průřezu výztuhy

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{b_p}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_y}} = 1,052 \cdot \frac{24,88}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{288,74}{210000 \cdot 0,64}} = 0,811$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,811 \leq 0,673$$

... výztuha boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu

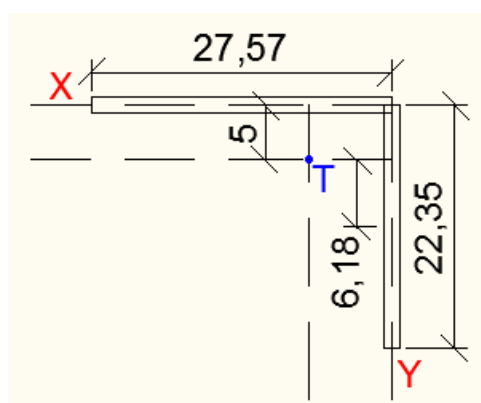
$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p = (1 - 0,22/0,811) / 0,811 = 0,898$$

$$c_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,898 \cdot 24,88 = 22,35 \text{ mm}$$

Plocha účinných průřezů

$$A_s = 1,5 \cdot (27,57 + 22,35) = 74,88 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště výztuhy :



$$A_1 = 27,57 \cdot 1,5 = 41,35 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 22,35 \cdot 1,5 = 33,52 \text{ mm}^2$$

$$U_x = 33,52 \cdot 11,07 + 41,35 \cdot 0 = 374,51$$

$$U_y = 33,52 \cdot 0 + 41,35 \cdot 13,745 = 570$$

$$e_x = U_y/A_s = 570/74,88 = 7,61 \text{ mm}$$

$$e_y = U_x/A_s = 374,51/74,88 = 5 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot 22,35^3 \cdot 1,5 + 1,5 \cdot 22,35 \cdot 6,17^2 + 1,5 \cdot 27,57 \cdot 5^2$$

$$I_s = 3707,40 \text{ mm}^4$$

Provedeme výpočet kritického napětí

$$\sigma_{CR,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{0,416 \cdot 210000 \cdot 3707,40}}{74,88} = 481,30 \text{ Mpa}$$

Štíhlost

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{350}{481,30}} = 0,85$$

$$\bar{\sigma} = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\sigma} = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (0,85 - 0,2) + 0,85^2) = 0,91$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\bar{\sigma} + \sqrt{\bar{\sigma}^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,91 + \sqrt{0,91^2 - 0,85^2}} = 0,825$$

Výpočet efektivních rozměrů

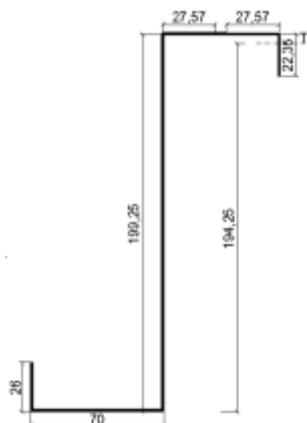
Pro efektivní napětí: $\sigma_{com} = \chi \cdot f_y = 0,825 \cdot 350 = 288,75 \text{ Mpa}$

Efektivní plochu: $A_{s,eff} = \chi \cdot A_s = 0,825 \cdot 74,88 = 61,77 \text{ mm}^2$

Efektivní tloušťku: $t_{eff} = \chi \cdot t = 0,825 \cdot 1,5 = 1,24 \text{ mm}$

Jelikož výpočet redukčního součinitele χ je již neměnný, je možno iteraci ukončit.

Stanovení účinného průřezu stojiny



$$y_d = \frac{61,77 \cdot 194,25 + 27,57 \cdot 1,5 \cdot 199,25 + 200 \cdot 1,5 \cdot 100 + 70 \cdot 1,5 \cdot 0,75 + 26 \cdot 1,5 \cdot 13}{61,77 + 27,57 \cdot 1,5 + 200 \cdot 1,5 + 70 \cdot 1,5 + 26 \cdot 1,5}$$

$$y_d = \frac{50824}{547,48} = 92,83 \text{ mm}$$

$$y_h = 107,17 \text{ mm}$$

$$\Psi = \frac{-92,83}{107,17} = -0,866$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

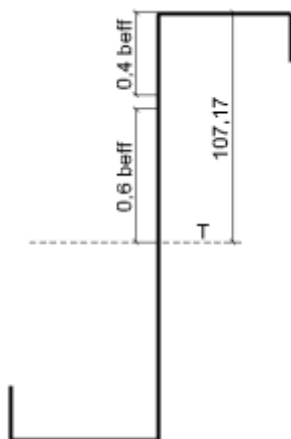
$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,866) + 9,78 \cdot (-0,866)^2 = 20,59$$

$$\bar{\lambda}_p = 1,052 \cdot \frac{y_h}{t} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{com}}{E \cdot K_\delta}} = 1,052 \cdot \frac{107,17}{1,5} \cdot \sqrt{\frac{350}{210000 \cdot 20,59}} = 0,676$$

$$\bar{\lambda}_p \leq 0,673 \quad \Rightarrow \quad 0,676 \leq 0,673$$

... stojina boulí a tzn. že nepůsobí v celém svém rozsahu



$$\rho = (1 - 0,22/\bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p = (1 - 0,22/0,676) / 0,676 = 0,997$$

$$s_{eff} = \rho \cdot b_p = 0,997 \cdot 107,17 = 106,85 \text{ mm}$$

$$s_{eff,40} = 0,40 \cdot 106,85 = 42,74 \text{ mm}$$

$$s_{eff,60} = 0,60 \cdot 106,85 = 64,11 \text{ mm}$$

$$y_d = \frac{61,77 \cdot 194,25 + 27,57 \cdot 1,5 \cdot 199,25 + 42,74 \cdot 1,5 \cdot 178,63 + 156,94 \cdot 78,47 \cdot 1,5 + 70 \cdot 1,5 \cdot 0,75 + 26 \cdot 1,5 \cdot 13}{61,77 + 27,57 \cdot 1,5 + 42,74 \cdot 1,5 + 156,94 \cdot 78,47 + 70 \cdot 1,5 + 26 \cdot 1,5}$$

$$y_d = \frac{50681,16}{546,30} = 92,77$$

$$y_h = 107,23 \text{ mm}$$

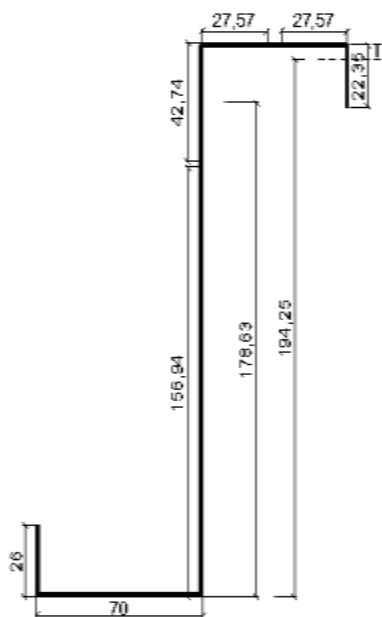
$$\Psi = \frac{-92,77}{107,23} = -0,865$$

Výpočet součinitele kritického napětí:

- pro tlačené části s oběma podepřenými okraji platí

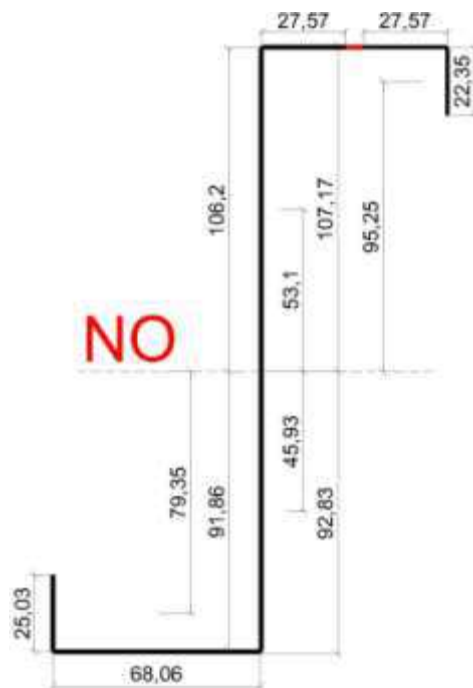
$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot \Psi + 9,78 \cdot \Psi^2$$

$$K_\delta = 7,81 - 6,29 \cdot (-0,865) + 9,78 \cdot (-0,865)^2 = 20,57$$



Rozdíl mezi celou stojinou a vypočtenou stojinou s eff. délkami je 0.05%. Proto budeme dále ve výpočtu uvažovat s celou stojinou.

3.3.2. Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu



Moment setrvačnosti k ose $y - y$

$$I_{eff} = 1/12 \cdot 1,24 \cdot 22,35^3 + 1,24 \cdot 22,35 \cdot 95,25^2 + 1/12 \cdot 27,57 \cdot 1,24^3 + 27,57 \cdot 1,24 \cdot 106,42^2 + 1/12 \cdot 27,57 \cdot 1,5^3 + 27,57 \cdot 1,5 \cdot 106,42^2 + 1/12 \cdot 1,5 \cdot 106,2^3 + 1,5 \cdot 106,2 \cdot 53,1^2 + 1/12 \cdot 1,5 \cdot 92,83^3 + 1,5 \cdot 92,83 \cdot 45,93^2 + 1/12 \cdot 68,06 \cdot 1,5^3 + 68,06 \cdot 1,5 \cdot 92,08^2 + 1/12 \cdot 1,5 \cdot 25,03^3 + 1,5 \cdot 25,03 \cdot 79,35^2$$

$$I_{eff} = 1153,65 + 251437 + 4,38 + 387172,91 + 7,75 + 468354,32 + 149721,29$$

$$+ 449163,87 + 99994,26 + 293746,36 + 19,14 + 865593,18 + 1960,16 + 236399,18$$

$$I_{eff} = 1257851,3 + 1946876,15 = 3204727 mm^4 = 3,20 \cdot 10^6 mm^4$$

Průřezový modul efektivního průřezu pro ohyb okolo osy y-y

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{y_h} = \frac{3,20 \cdot 10^6}{107,23} = 2984 \text{ mm}^3 = 29,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Ohybový moment vypočítaný dle efektivního průřezu

$$M_{eff, RD} = W_{eff} \cdot f_{yd} = 29,8 \cdot 350 = 10,43 \text{ kNm} \geq M_{SD} = 3,97 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE (rezerva 62%)

Porovnání ohybového momentu dle efektivního průřezu s tabulkou výrobce:

Profile Z											
No.	Profile	Thickness	Moment of inertia gross	Sectional modulus gross	Moment of inertia effective, Top flange compressed	Sectional modulus effective, Top flange compressed	Moment of inertia effective, Bottom flange compressed	Sectional modulus effective, Bottom flange compressed	Radius of gyration	Max. span bending moment, Top flange compressed	Max. span bending moment, Bottom flange compressed
A	H	t _{nom}	I _y	W _y	I _{y,eff}	W _{y,eff}	I _{y,eff}	W _{y,eff}	i _y	M _{b,Rd}	M _{b,Rd}
B	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm	kNm	kNm
1.	Z100	1,00	31,155	6,124	27,265	5,152	27,953	5,093	3,918	1,639	1,621
2.		1,20	37,607	7,378	35,872	7,189	36,656	7,046	3,918	2,287	2,242
3.		1,50	47,262	9,244	47,262	9,244	47,262	9,244	3,917	2,941	2,941
4.		2,00	63,289	12,319	63,289	12,319	63,289	12,319	3,915	3,920	3,920
5.	Z120	1,00	47,935	7,857	40,746	6,259	41,744	6,209	4,647	1,992	1,976
6.		1,20	57,866	9,469	53,833	8,769	54,948	8,623	4,647	2,790	2,744
7.		1,50	72,727	11,871	72,725	11,871	72,240	11,715	4,646	3,777	3,728
8.		2,00	97,403	15,834	97,403	15,834	97,403	15,834	4,642	5,038	5,038
9.	Z150	1,00	81,548	10,705	66,447	7,914	68,023	7,883	5,700	2,518	2,508
10.		1,20	98,450	12,906	88,250	11,128	89,942	10,981	5,700	3,541	3,494
11.		1,50	123,746	16,190	120,463	16,083	119,756	15,206	5,699	5,117	4,838
12.		2,00	165,761	21,616	165,761	21,616	165,634	21,584	5,695	6,878	6,868
13.	Z200	1,50	333,533	32,753	272,775	24,306	279,452	24,328	7,787	7,734	7,741
14.		2,00	447,103	43,798	421,015	41,018	427,145	40,294	7,784	13,051	12,821
15.		2,50	560,349	54,756	559,365	54,733	556,964	54,105	7,783	17,415	17,215
16.		3,00	673,275	65,630	673,275	65,630	673,275	65,630	7,778	20,882	20,882

	Vypočítaný	Tabulka	Rozdíl
I_{eff}	$3,20 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$2,79 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	12,8%
$W_{y,eff}$	$29,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	$24,33 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$	18%
$M_{y,eff,RD}$	10,43 kNm	7,74 kNm	25%

Komentář k výsledkům viz. závěr.

3.3.3. Porovnání ohybového momentu a smykové únosnosti nad podporou

KOMBINACE M+V (podpora)

$$M_{Ed} = 11,88 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 12,27 \text{ kN}$$

smyková pevnost vlivem boulení:

$$f_{bv} = 0,67 \cdot \frac{f_{yb}}{\bar{\lambda}_w^2} = 0,67 \cdot \frac{350}{1,86^2} = 67,78$$

Poměrná štíhlost pro stojiny bez podélných výztuh:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{198,5}{1,5} \sqrt{\frac{350}{210000}} = 1,86$$

$$V_{wRd} = \frac{198,5}{\sin 90} \cdot 1,5 \cdot \frac{67,78}{1} = 20,18 \text{ kN}$$

$$V_{wRd} > V_{Ed} \Rightarrow 20,18 \text{ kN} > 12,27 \text{ kN} \dots \text{VYHOVUJE}$$

Interakce M+V

U průřezu vystaveného kombinaci ohybového momentu M_{Ed} a smykové síly V_{Ed} není potřeba žádné redukce kvůli smykové síle, pokud platí $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$. Je-li smyková síla větší než polovina smykové únosnosti, má být splněna následující rovnice:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{yRd}} + \left[1 - \frac{M_{fRd}}{M_{plRd}}\right] \cdot \left[\frac{2V_{Ed}}{V_{w,Rd}} - 1\right]^2 \leq 1,0$$

Jelikož nad podporou působí dvě vaznice tak $V_{w,Rd}$ bude násobkem obou. Viz: první vaznice počítána na straně 76.

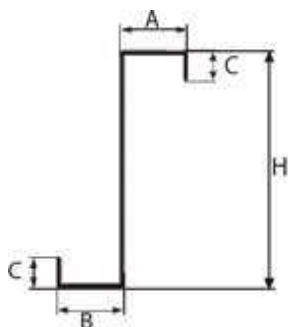
$$V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$$

$$12,27 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 47,91 + 0,5 \cdot 20,18 = 34,05 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Ukázka výpočtu pokud by nebyla splněna podmínka rovnice: $V_{Ed} \leq 0,5 \cdot V_{w,Rd}$.

Výpočet M_{plRd} :



$$A = 62\text{mm}$$

$$B = 70\text{mm}$$

$$C = 26\text{mm}$$

$$H = 200\text{mm}$$

$$t = 1,5\text{mm}$$

Výpočet ploch

$$A_{c1} = 26 \cdot 1,5 = 39 \text{ mm}^2$$

$$A_{c2} = 26 \cdot 1,5 = 39 \text{ mm}^2$$

$$A_a = 59 \cdot 1,5 = 88,5 \text{ mm}^2$$

$$A_h = 200 \cdot 1,5 = 300 \text{ mm}^2$$

$$A_b = 67 \cdot 1,5 = 100,5 \text{ mm}^2$$

Plocha plnného průřezu

$$A = 39 \cdot 2 + 100,5 + 300 + 88,5 = 567 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště.

$$s_d = \frac{1}{567} \cdot (39 \cdot 187 + 88,5 \cdot 199,25 + 300 \cdot 100 + 100,5 \cdot 0,75 + 39 \cdot 13) = 97,90\text{mm}$$

$$s_h = 200 - 97,90 = 102,1 \text{ mm}$$

Výpočet neutrální osy

$$y_d = \frac{\frac{A}{2} - A_{c2} - A_b}{1,5} = 96 \text{ mm} \Rightarrow y_h = 104 \text{ mm}$$

Výpočet plastického průřezového modulu

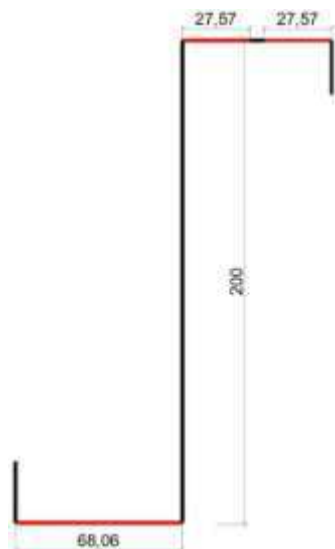
$$W_{pl,y} = (26 \cdot 1,5 \cdot 83 + 68,5 \cdot 1,5 \cdot 95,25 + 96 \cdot 1,5 \cdot 48) + (26 \cdot 1,5 \cdot 91 + 59 \cdot 1,5 \cdot 103,25 + 104 \cdot 1,5 \cdot 52) =$$

$$W_{pl,y} = 19936 + 20798 = 40,73 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Výpočet plastického ohybového momentu

$$M_{pl} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} = 40,73 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 14,25 \cdot 10^{-3} \text{ MNm} = 14,25 \text{ kNm}$$

Výpočet M_{fRd} = momentová únosnost průřezu sestávajícího se pouze z účinných ploch pásnic



$$A_{hp1} = 27,57 \cdot 1,24 = 34,19 \text{ mm}^2$$

$$A_{hp1,2} = 27,57 \cdot 1,5 = 41,36 \text{ mm}^2$$

$$A_{dp} = 68,02 \cdot 1,5 = 102,03 \text{ mm}^2$$

$$A = 177,58 \text{ mm}^2$$

Výpočet těžiště

$$s_d = \frac{1}{177,58} \cdot (34,19 \cdot 199,25 + 41,36 \cdot 199,25 + 102,03 \cdot 0,75) =$$

$$s_d = 85,20 \text{ mm}$$

$$s_h = 114,80 \text{ mm}$$

Výpočet momentu setrvačnosti k ose y – y

$$I_{fRd} = \frac{1}{12} \cdot 27,57 \cdot 1,24^3 + 27,57 \cdot 1,24 \cdot 114,05^2 + \frac{1}{12} \cdot 27,57 \cdot 1,5^3 + 27,57 \cdot 1,5 \cdot 114,05^2 +$$

$$+ \frac{1}{12} \cdot 68,08 \cdot 1,5^3 + 68,08 \cdot 1,5 \cdot 84,45^2$$

$$I_{fRd} = 4,38 + 444681,47 + 7,75 + 537921,13 + 19,15 + 728299,67$$

$$I_{fRd} = 1,711 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{fRd} = \frac{I_{yp}}{s_h} = \frac{1,711 \cdot 10^6}{114,80} = 14,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{fRd} = W_{fRd} \cdot f_{yd} = 14,9 \cdot 10^{-6} \cdot 350 = 5,21 \text{ kNm}$$

Splnění podmínky je počítáno na straně č.78

3.3.4. Posouzení od maximálního zatížení nad podporou

- vzpěrná únosnost volné pásnice

$$\sigma_{max,Ed} = \left(\frac{1}{\chi_{LT}} \cdot \frac{M_{yEd}}{W_{yeff}} \right) + \frac{M_{fz}}{W_{fz}}$$

$$\sigma_{max,Ed} \leq f_{yd}$$

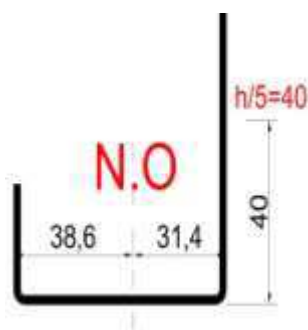
Průřezové veličiny

$$A_{fz} = 26 \cdot 1,5 + 67 \cdot 1,5 + h/5 \cdot 1,5 = 199,5 \text{ mm}$$

$$z_1 = \frac{26 \cdot 1,5 \cdot 0,75 + 67 \cdot 1,5 \cdot 35 + 40 \cdot 1,5 \cdot 69,25}{199,5} = 38,6 \text{ mm}$$

$$z_2 = 70 - 38,6 = 31,4 \text{ mm}$$

Moment setrvačnosti plného průřezu z 1/5 spolupůsobící výšky stojiny Z profilu k ose z-z



$$I_{fz} = 1/12 \cdot 40 \cdot 1,5^3 + 40 \cdot 1,5 \cdot 30,65^2 + 1/12 \cdot 1,5 \cdot 29,9^3 +$$

$$+ 1,5 \cdot 29,9 \cdot 14,95^2 + 1/12 \cdot 1,5 \cdot 37,1^3 + 1,5 \cdot 37,1 \cdot 18,55^2 +$$

$$+ 1/12 \cdot 26 \cdot 1,5^3 + 26 \cdot 1,5 \cdot 37,85^2$$

$$I_{fz} = 11,25 + 56365,35 + 3341,36 + 10024,1 + 6383,1 + 19149,3 +$$

$$+ 7,31 + 55872,28 = 151154 \text{ mm}^4 = 151,15 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$W_{2fz} = \frac{I_{fz}}{z_1} = \frac{151,15 \cdot 10^3}{31,4} = 4,81 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Poloměr setrvačnosti plného průřezu sestaveného z volné pásnice a spolupůsobící části stojiny pro vybočení k ose z-z

$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{151,15 \cdot 10^3}{199,5}} = 27,52 \text{ mm}$$

Vliv distance průřezu dolní pásnice (spojení mezi krytinou a vaznicí)

$$K_a = \frac{E \cdot t^3}{4 \cdot (1-\nu^2) \cdot h^2 \cdot (h_d + b_{mod})} = \frac{210000 \cdot 10^3 \cdot 0,0015^3}{4 \cdot (1-0,3^2) \cdot 0,2^2 \cdot (0,2+0,0308)} = 21,09 \text{ kPa}$$

Vliv rotačního držení horní pásnice (příčná tuhost odpovídající distorzi příčného řezu vaznice)

p... počet šroubů ($k_s = 5$)

$$K_b = \frac{c_p}{h^2} = \frac{0,13 \cdot 5}{0,2^2} = 16,25 \text{ kPa}$$

Příčná tuhost podepření na jednotku délky

$$K = \left(\frac{1}{K_a} + \frac{1}{K_b} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{21,09 \cdot 10^3} + \frac{1}{16,25 \cdot 10^3} \right)^{-1} = 9178 \text{ Pa}$$

Součinitel pro pružnou podporu

$$R = \frac{K \cdot L^4}{\pi^4 \cdot E \cdot I_{fz}} = \frac{9178 \cdot 5,5^4}{\pi^4 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 151,15 \cdot 10^{-9}} = 2,716$$

Součinitel pro eff. pružné podepření

$$\kappa_R = \frac{1+0,0178 \cdot R}{1+0,191 \cdot R} = \frac{1+0,0178 \cdot 2,716}{1+0,191 \cdot 2,716} = 0,69$$

$$K_h = \frac{ht(b^2+2cb-\frac{2c^2b}{h})}{4 \cdot I_y} = \frac{0,2 \cdot 0,0015 \cdot (0,070^2 + 2 \cdot 0,026 \cdot 0,070 - \frac{2 \cdot 0,026^2 \cdot 0,070}{0,2})}{4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-6}} = 0,189$$

Příčné zatížení volné pásnice (stálé max.+sníh+tl.větru)

$$g_{yd} = 0,59 \cdot 1,35 + 1,68 \cdot 1,5 + 0,4 \cdot 0,9 = 3,68$$

$$q_{nFd} = K_h \cdot g_{yd} = 0,189 \cdot 3,68 = 0,695$$

Hodnota počátečního momentu bez jakéhokoli podepření

$$M_{o,fz} = 1/12 \cdot q_{nFd} \cdot L^2 = 1/12 \cdot 0,695 \cdot 5,5^2 = 1,75 \text{ kNm}$$

$$M_{2fz} = \kappa_R \cdot M_{o,fz} = 0,69 \cdot 1,75 = 1,21 \text{ kNm}$$

Vzpěrná délka a vzpěr χ

Vzpěrná délka pásnice při proměně tlakového napětí

$$l_{fz} = \eta_1 \cdot L_a \cdot (1 + \eta_2 \cdot R^{\eta_3})^{\eta_4}$$

$$l_{fz} = 0,596 \cdot 5,5 \cdot (1 + 2,33 \cdot 3,56^{1,15})^{-0,192}$$

$$l_{fz} = 2,07\text{m}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{\chi_{fz}}{\lambda_1} \right) \quad => \quad \text{Součinitel vzpěrnosti}$$

$$\chi = \frac{l_{fz}}{i_{fz}} = \frac{2,07}{0,02752} = 75,22$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \left(\frac{E}{f_{yb}} \right)^{0,5} = \pi \cdot \left(\frac{210000}{350} \right)^{0,5} = 76,95$$

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{\chi_{fz}}{\lambda_1} \right) = \left(\frac{75,22}{76,95} \right) = 0,98$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (0,98 - 0,2) + 0,98^2) = 1,03$$

Výpočet součinitele vzpěrnosti pro klopení

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,03 + \sqrt{1,03^2 - 0,98^2}} = 0,742$$

Porovnávací výpočet proveden na straně č. 81

3.3.5. Posouzení od minimálního zatížení v poli (klopení tlačené pásnice)

$$M_{pole} = -2,92 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{podpora} = 8,36 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_d = \frac{M_{ysd}}{\chi \cdot W_{yeff}} + \frac{M_{fz}}{W_{fz}} \leq f_{yd}$$

$$\kappa_R = \frac{1-0,0125 \cdot R}{1+0,198 \cdot R} = \frac{1-0,0125 \cdot 2,716}{1+0,198 \cdot 2,716} = 0,628$$

$$K_h = \frac{ht(b^2 + 2cb - \frac{2c^2b}{h})}{4 \cdot I_y} - \frac{a}{h} = 0,189 - \frac{0,031}{0,2} = 0,034$$

Příčné zatížení volné pásnice (stálé min.+ příčný vítr)

$$g_{yd} = 0,11 - 1,81 \cdot 1,5 = -2,61 \text{ kNm}$$

$$q_{nFd} = K_h \cdot g_{yd} = 0,034 \cdot 2,61 = 0,088 \text{ kNm}$$

$$M_{o,fz} = 1/24 \cdot q_{nFd} \cdot L^2 = 1/24 \cdot 0,088 \cdot 5,5^2 = 0,111 \text{ kNm}^2$$

$$M_{fz} = \kappa_R \cdot M_{o,fz} = 0,628 \cdot 0,111 = 0,070 \text{ kNm}^2$$

Vzpěrná délka pásnice

$$l_{fz} = 0,7 \cdot L_o \cdot (1 + 13,1 \cdot R_o^{1,6})^{-0,125} = 0,7 \cdot 4,4 \cdot (1 + 13,1 \cdot 0,057^{1,6})^{-0,125}$$

$$l_{fz} = 3,03$$

Součinitel pro pružnou podporu

$$R_o = \frac{K \cdot L_o^4}{\pi^4 \cdot E \cdot I_{fz}} = \frac{9178 \cdot 4,4^4}{\pi^4 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 151,15 \cdot 10^{-9}} = \frac{177686}{3091910} = 0,057$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \frac{l_{fz}}{i_{fz}} = \frac{3,03}{27,52 \cdot 10^{-3}} = 110,1$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{\chi_{fz}}{\lambda_1} \right)$$

$$\bar{\lambda}_{fz} = \left(\frac{110,1}{76,95} \right) = 1,43$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\emptyset = 0,5 \cdot (1 + 0,13 \cdot (1,43 - 0,2) + 1,43^2) = 1,60$$

Výpočet redukčního součinitele

$$\chi = \frac{1}{\emptyset + \sqrt{\emptyset^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,60 + \sqrt{1,60^2 - 1,43^2}} = 0,43$$

$$\sigma_d = \frac{M_{ysd}}{\chi \cdot W_{yeff}} + \frac{M_{fz}}{W_{fz}} \leq f_{yd}$$

$$\sigma_d = \frac{2,92 \cdot 10^3}{0,43 \cdot 29,8 \cdot 10^3} + \frac{0,070 \cdot 10^3}{4,81 \cdot 10^3} \leq 227 + 15 = 242 \text{ Mpa} \dots \leq 350 \text{ Mpa}$$

VYHOVUJE

4. Příhradový vazník

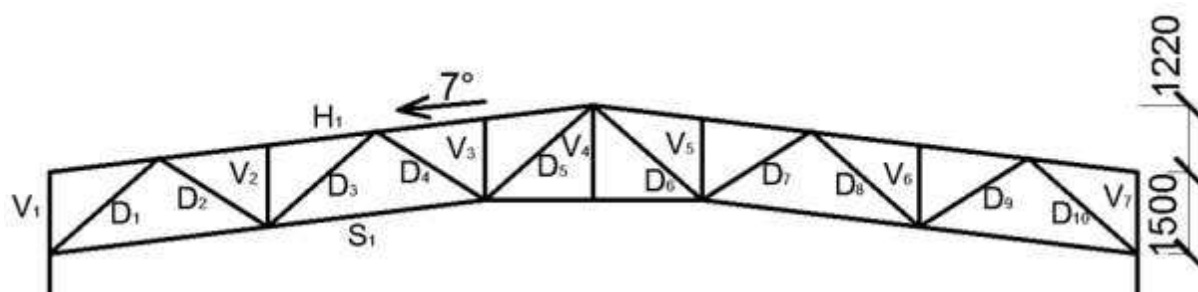
Statické schéma:

Při modelování se předpokládá, že všechny výplňové pruty (diagonály a svislice) jsou kloubově připojeny k průběžným pásům. Šířka mezi příhradovými vazníky je 5,5m. Délka vazníku 20m.

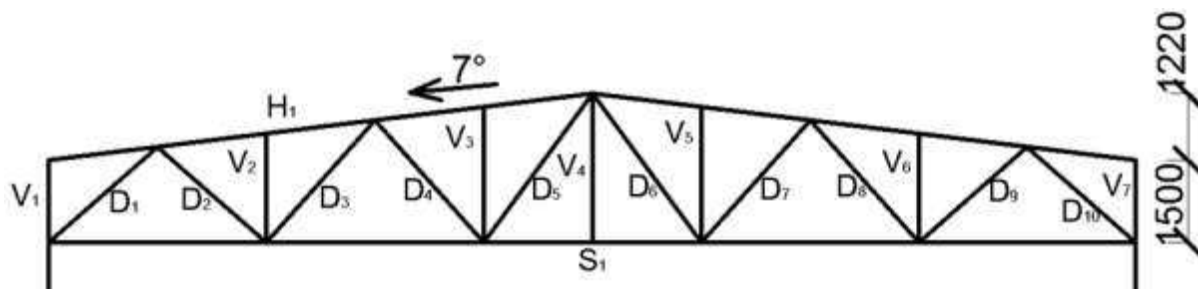
Pro porovnání a konečný výběr vazníku jsem provedl tři různé statické modely vazníku.

4.1 Návrh tří druhů příhradových vazníků:

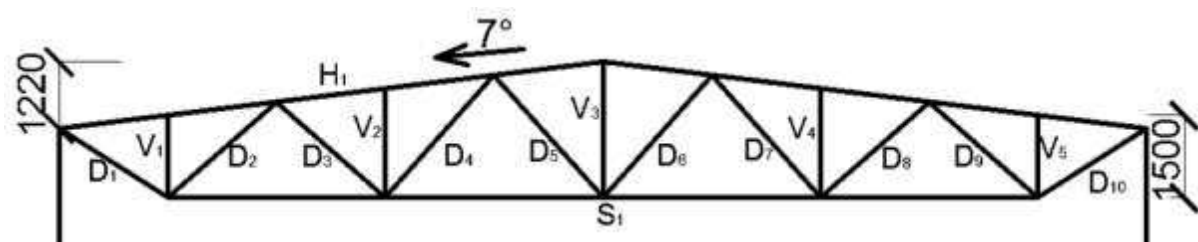
Vazník č.1



Vazník č.2



Vazník č.3



Analýza zatížení:

Stálé	kN/m ²	Součinitel	kN/m ²
TR 35/260/0,75	0,064	1,35	0,086
Rockwool Rock Max	0,414	1,35	0,56
TR 40-119-925	0,052	1,35	0,070
Vaznice Z200	0,058	1,35	0,079
	0,588	CELKEM	0,795

Užitné	0,75	1,5	1,125
---------------	-------------	------------	--------------

Zatížení stálé: -rozteč mezi vazníky 5,5m

- $F_{gk} = 0,588 \cdot 2,5 \cdot 5 = 6,47 \text{ kN}$

+ vlastní tíha vazníku: 1 kN/m (odhad)

- při délce 2 m

$F_{gk} = 6,47 + 1 \cdot (2) = 8,47 \text{ kN}$

- pro kraje, kde je působící délka 1m

$F_{gk} = 3,24 + 1 \cdot (1) = 4,24 \text{ kN}$

Zatížení stálé minimální: (vlastní tíha vazníku + TR 35/260/0,75)

- $F_{gk} = 1 \cdot (2) + 0,064 \cdot 2,5 \cdot 5 = 2,70 \text{ kN}$

- pro kraje, kde je působící délka 1m

- $F_{gk} = 2,70 / 2 = 1,35 \text{ kN}$

Zatížení užité

- $F_{qk} = 0,75 \cdot 2,5 \cdot 5 = 8,25 \text{ kN}$

Sníh: - $s_{d,h1} = 0,84 * 2 = 1,68 \text{ kN/m}$

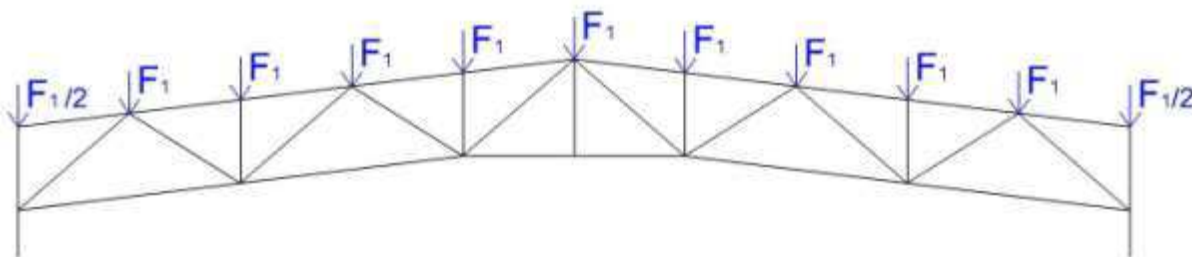
- $S_{d,h2} = 0,42 * 2 = 0,84 \text{ kN/m}$

- $F_{sk,1} = 1,68 * 5,5 = 9,24 \text{ kN}$

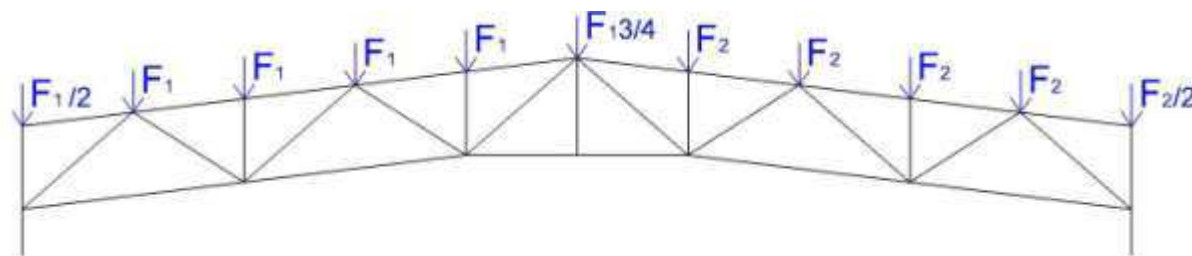
- $F_{sk,2} = 0,84 * 5,5 = 4,62 \text{ kN}$

Statické schéma pro zatížení sněhem:

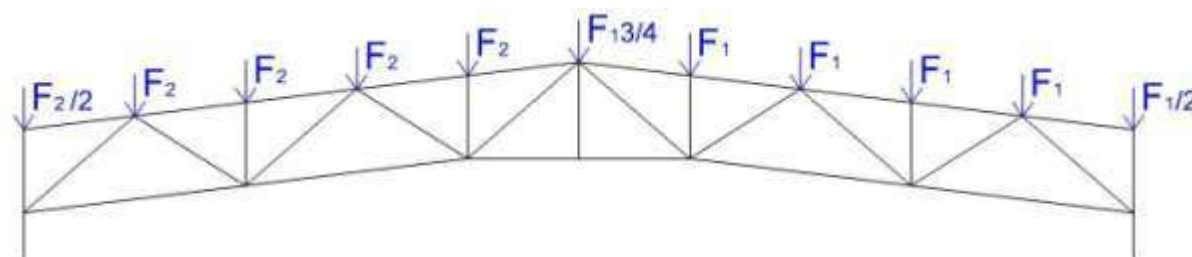
Zatížení sněhem $s_{d,h1}$ po celé délce



Zatížení sněhem $s_{d,h1}$ po levé straně 1/2 vazníku a po pravé straně 1/2 vazníku zatížení $S_{d,h2}$

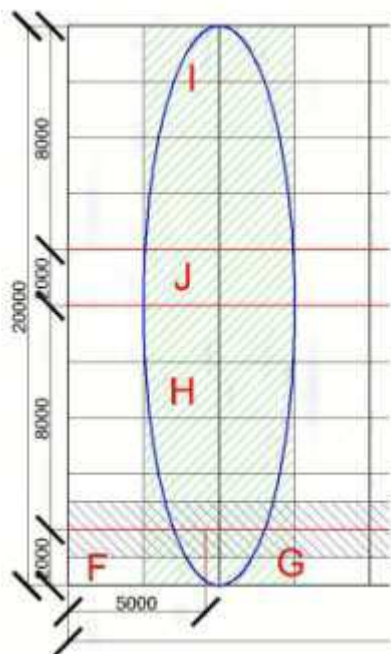


Zatížení sněhem $S_{d,h2}$ po levé straně 1/2 vazníku a po pravé straně 1/2 vazníku zatížení $s_{d,h1}$



Statické schéma pro zatížení větrem:

- příčný tlak (sání) větru na střešní konstrukci:



- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu:

$$c_{pi}^- = 0,2$$

$$w_k^D = 0,67 \cdot (0,68 - 0,2) \cdot 5,5 = 1,77 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,67 \cdot (-0,425 - 0,2) \cdot 5,5 = -2,30 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-F} = 0,67 \cdot (-1,7 - 0,2) \cdot 5,5 = -7 \text{ kN/m}^2$$

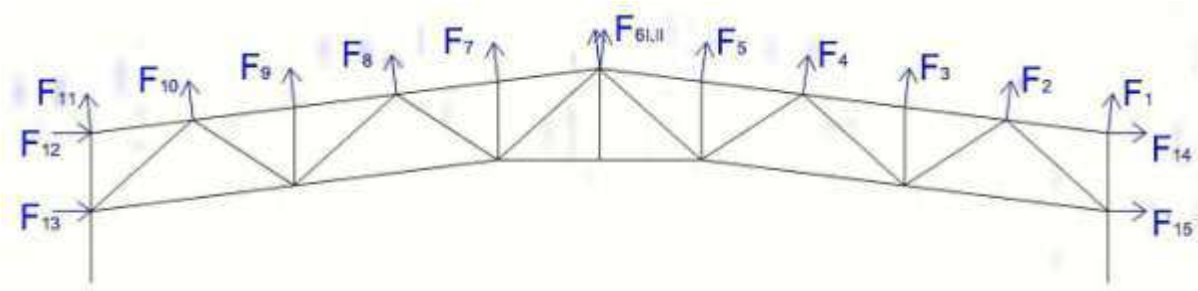
$$w_k^{-G} = 0,67 \cdot (-1,2 - 0,2) \cdot 5,5 = -5,16 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-FG} = 0,67 \cdot ((-1,9 \cdot 2,25 + (-1,4 \cdot 3,25))) = 5,91 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot 5,5 = -2,95 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-J} = 0,67 \cdot (0,2 - 0,2) \cdot 5,5 = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-I} = 0,67 \cdot (-0,6 - 0,2) \cdot 5,5 = -2,95 \text{ kN/m}^2$$



Přepočet na silové jednobodové zatížení:

$$F_1^{-F,G} = -5,91 \text{ kN}$$

$$F_2^{-F,G,H} = -5,91 + (-2,95) = -8,86 \text{ kN}$$

$$F_{6,I,II}^{-H,J} = -2,95/2 = -1,475 \text{ kN}$$

$$F_{8-10}^{-I} = -2,95 \cdot 2 = -5,9 \text{ kN}$$

$$F_{12,13}^D = 1,77 \cdot 1,5/2 = 1,33 \text{ kN}$$

$$F_{3-5}^{-H} = -2,95 \cdot 2 = -5,9 \text{ kN}$$

$$F_7^{-J,I} = 0 + (-2,95) = -2,95 \text{ kN}$$

$$F_{11}^{-I} = -2,95 \text{ kN}$$

$$F_{14,15}^E = -2,30 \cdot 1,5/2 = -1,73 \text{ kN}$$

- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu: $c_{pi}^- = -0,3$

,využijeme především hodnot kdy vítr námáhá konstrukci tlakem. Vliv sání je zde menší než u $c_{pi}^- = 0,2$

$$w_k^D = 0,67 \cdot (0,68 - 0,2) \cdot 5,5 = 1,77 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^E = 0,67 \cdot (-0,425 - 0,2) \cdot 5,5 = -2,30 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^F = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot 5,5 = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^G = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot 5,5 = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

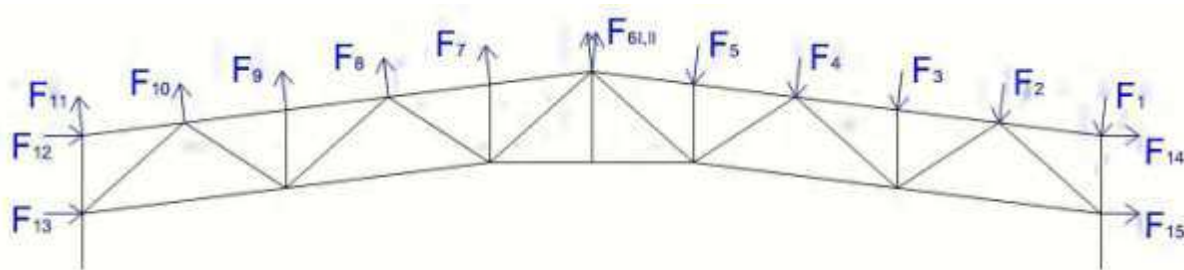
$$w_k^{-FG} = 0,67 \cdot ((0,3 \cdot 2,25 + (0,3 \cdot 3,25))) = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^H = 0,67 \cdot (0 + 0,3) \cdot 5,5 = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-HJ} = 0,67 \cdot ((0,3 \cdot 2,75 + (-0,3 \cdot 2,75))) = 0 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^J = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot 5,5 = -1,11 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^I = 0,67 \cdot (-0,6 + 0,3) \cdot 5,5 = -1,11 \text{ kN/m}^2$$



Přepočet na silové jednobodové zatížení:

$$F_1^{F,G} = 1,11 \text{ kN}$$

$$F_2^{F,G,H} = 1,11 \cdot 2 = 2,22 \text{ kN}$$

$$F_{3-5}^H = 1,11 \cdot 2 = 2,22 \text{ kN}$$

$$F_{6,I,II}^{H,J} = 0 \text{ kN}$$

$$F_7^{J,I} = -1,11 \cdot 2 = -2,22 \text{ kN}$$

$$F_{8-10}^I = -1,11 \cdot 2 = -2,22 \text{ kN}$$

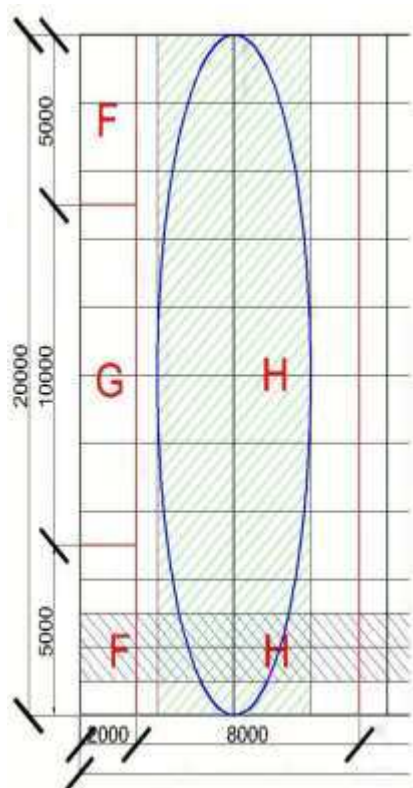
$$F_{11}^I = -1,11 \text{ kN}$$

$$F_{12,13}^D = 1,77 \cdot 1,5/2 = 1,33 \text{ kN}$$

$$F_{14,15}^E = -2,30 \cdot 1,5/2 = -1,73 \text{ kN}$$

- Podélný tlak (sání) větru na střešní konstrukci:

- pro vítr působící v rovině vyšetřovacího rámu:



$$c_{pi}^- = 0,2$$

$$w_k^{A,B} = 0,67 \cdot (-1,105 - 0,2) \cdot 5,5 = -4,81 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{-H} = 0,67 \cdot (-0,7 - 0,2) \cdot 5,5 = -3,32 \text{ kN/m}^2$$

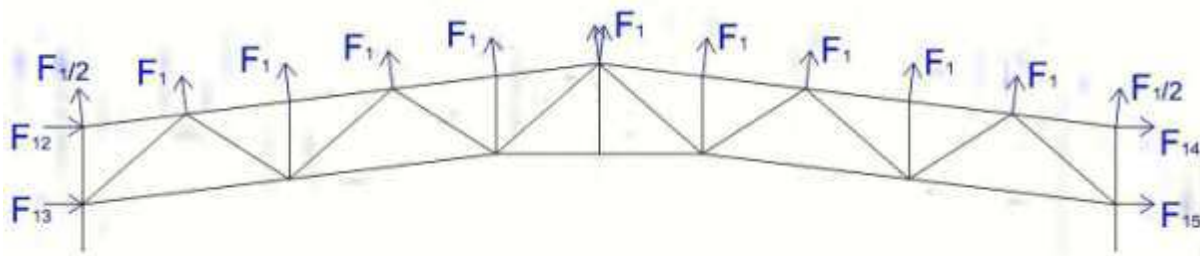
$$F^{AB} = -4,81 \cdot 1,5/2 = -3,61 \text{ kN}$$

$$F^{-H} = -3,32 \cdot 2 = -6,63 \text{ kN}$$

- pro vítr působící kolmo k rovině vyšetřovacího

$$\text{rámu: } c_{pi}^- = -0,3$$

Neuplatní se protože snižuje základní hodnotu sání větru.



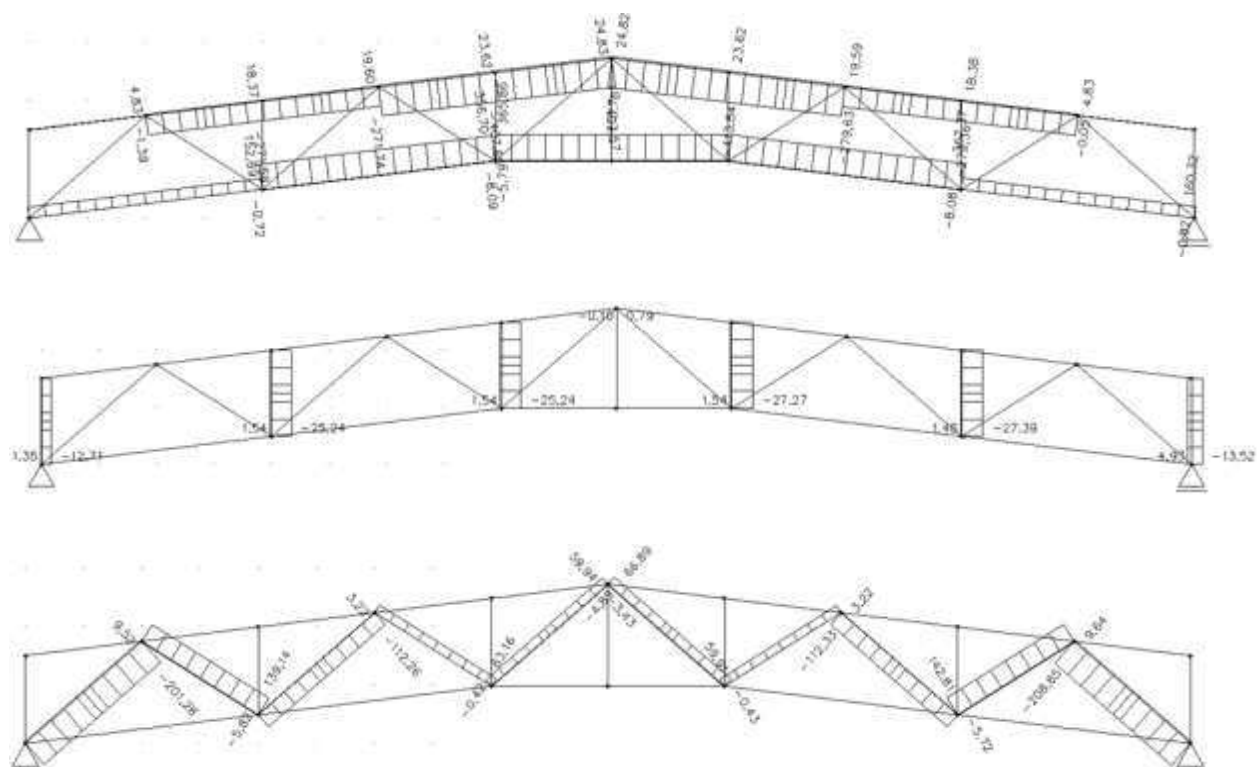
Kombinace zatížení:

Kombinace bude provedena dle předpokladu na tři druhy nejhorších možných zatížení.

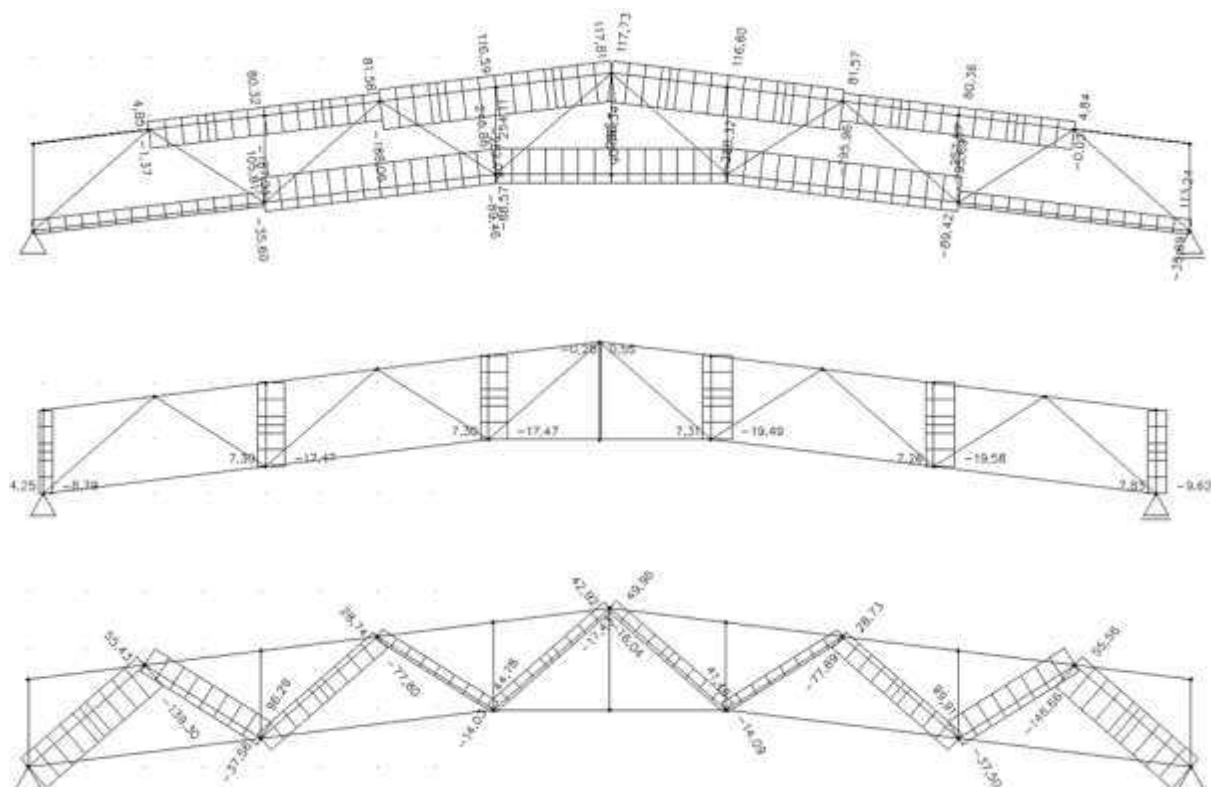
1. Kombinace stálé max. zatížení vlastního vazníku se součinitelem 1,35 + stálé zatížení sněhem se součinitelem 1,5 (3 možnosti zátěže) + tlak větru se součinitelem 0,9.
2. Kombinace stálé min. zatížení vlastního vazníku se součinitelem 1 + stálý podélný vítr se součinitelem 1,5 (sání)
3. Kombinace stálé min. zatížení vlastního vazníku se součinitelem 1 + stálý příčný vítr se součinitelem 1,5 (sání)

4.1.1. Únosnost - vnitřní síly u vazníku č.1

kombinace max. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sníh, vítr)



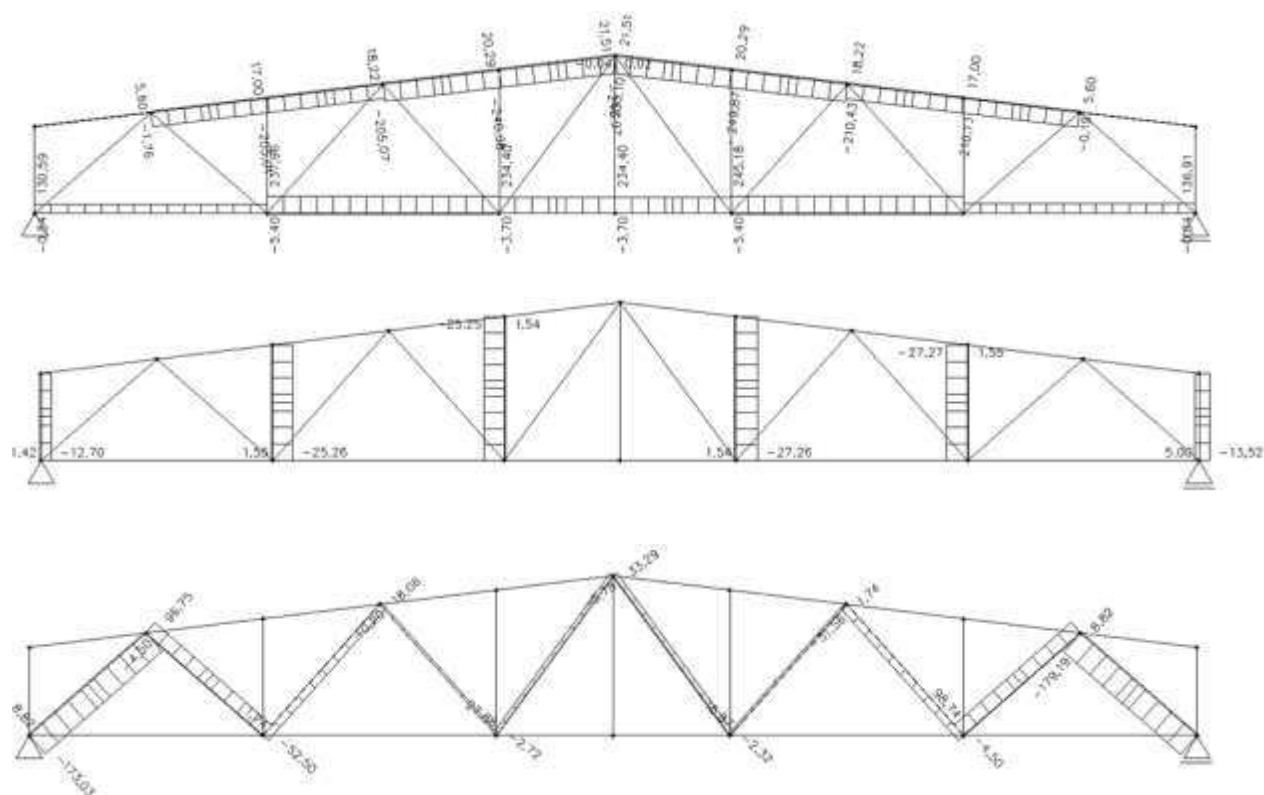
kombinace min. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sníh, vítr)



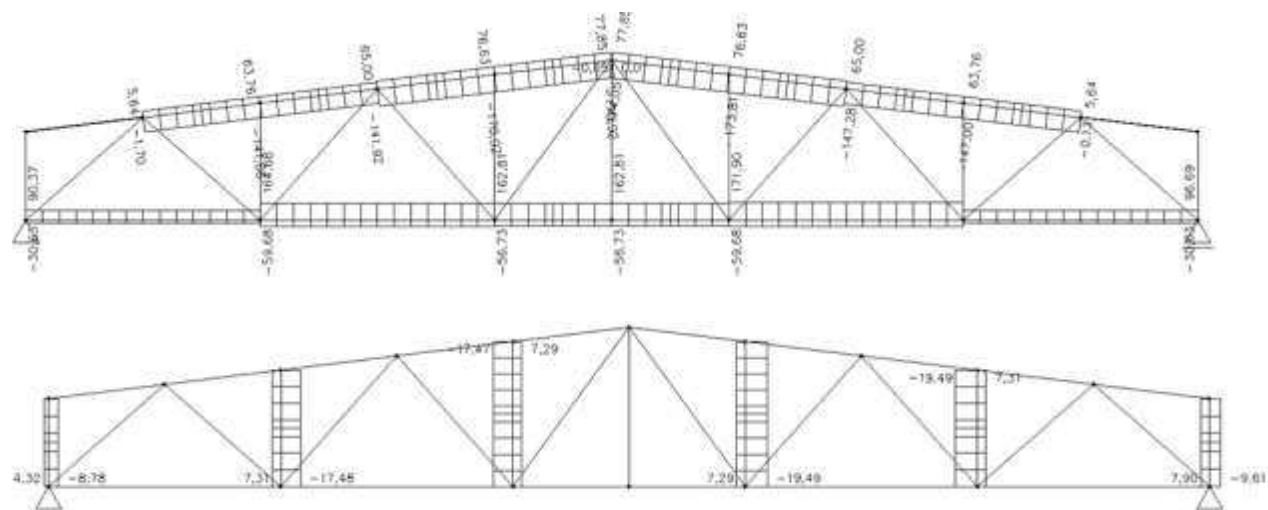
Tažené pruty		Tlačené pruty	
Prut	N_{Ed} (kN)	Prut	N_{Ed} (kN)
H	117,8	H	-413,6
S	367,4	S	-89,5
S_2	365,9	S_2	-88,6
V_1	4,25	V_1	-12,7
V_2	7,3	V_2	-25,3
V_3	7,3	V_3	-25,3
V_4	0,8	V_4	-0,3
V_5	7,3	V_5	-27,3
V_6	7,3	V_6	-27,4
V_7	7,8	V_7	-13,5
D_1	55,4	D_1	-201,3
D_2	139,1	D_2	-37,6
D_3	96,3	D_3	-112,3
D_4	63,2	D_4	-14
D_5	59,9	D_5	-16
D_6	66,9	D_6	-17,4
D_7	59,9	D_7	-14,1
D_8	28,7	D_8	-112,3
D_9	142,8	D_9	-37,5
D_{10}	55,6	D_{10}	-208,6

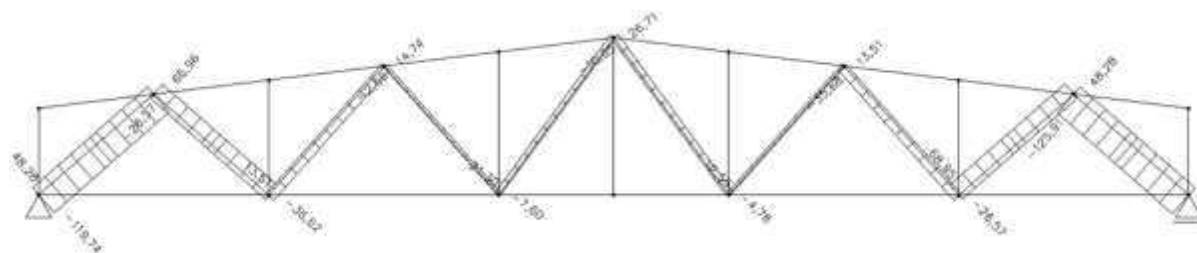
4.1.2. Únosnost - vnitřní síly u vazníku č.2

Kombinace max. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sníh, vítr)



kombinace min. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sníh, vítr)

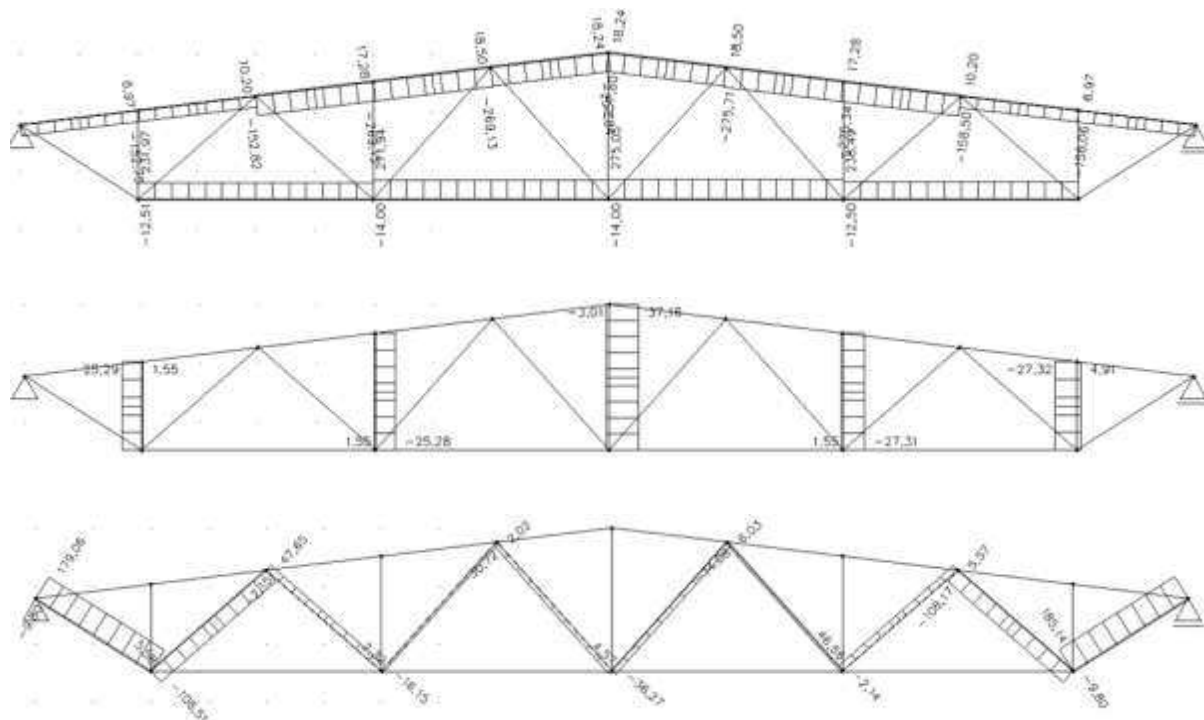




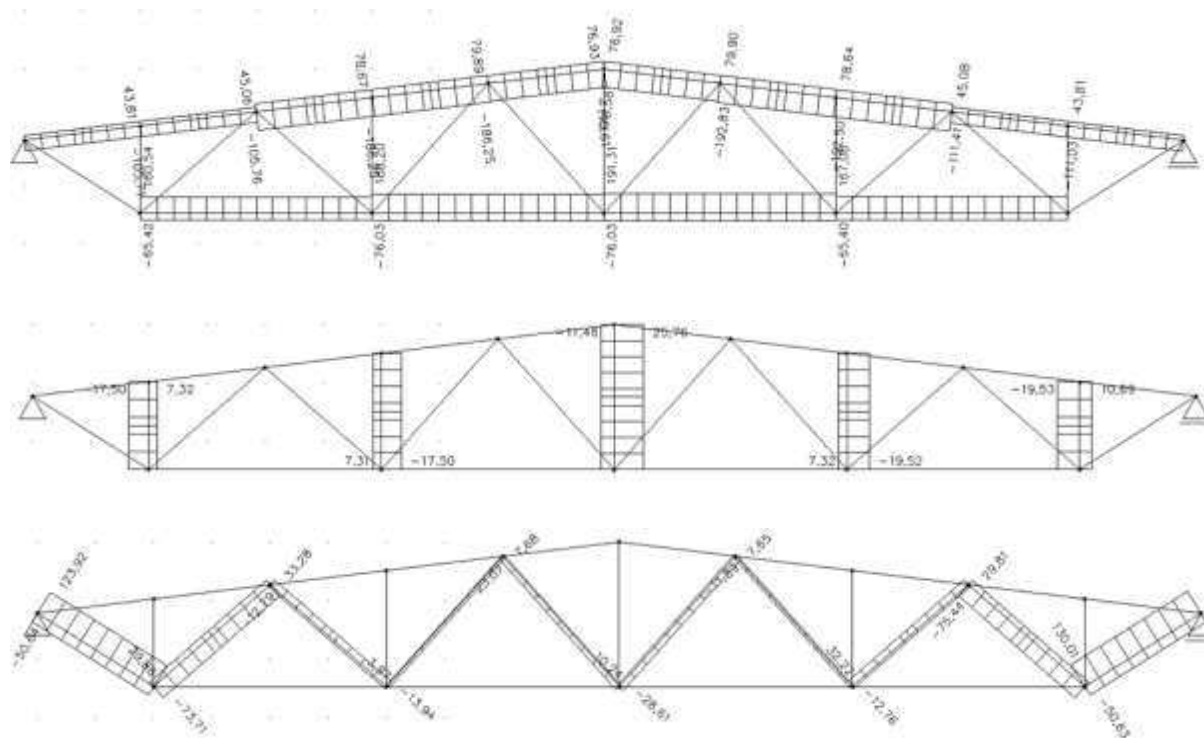
Tažené pruty		Tlačené pruty	
Prut	N_{Ed} (kN)	Prut	N_{Ed} (kN)
H	77,85	H	-249,9
S	245,2	S	-59,7
V_1	4,3	V_1	-12,7
V_2	7,3	V_2	-25,3
V_3	7,3	V_3	-25,25
V_4	0	V_4	0
V_5	7,3	V_5	-27,3
V_6	7,3	V_6	-27,3
V_7	7,9	V_7	-13,5
D_1	48,3	D_1	-173
D_2	96,75	D_2	-26,6
D_3	13,5	D_3	-52,5
D_4	18,1	D_4	-2,7
D_5	27,9	D_5	-7,6
D_6	33,3	D_6	-10,9
D_7	15,9	D_7	-4,8
D_8	13,5	D_8	-51,6
D_9	98,8	D_9	-26,6
D_{10}	48,3	D_{10}	-179,2

4.1.3. Únosnost - vnitřní síly u vazníku č.3

kombinace max. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sníh, vítr)



kombinace min. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sníh, vítr)



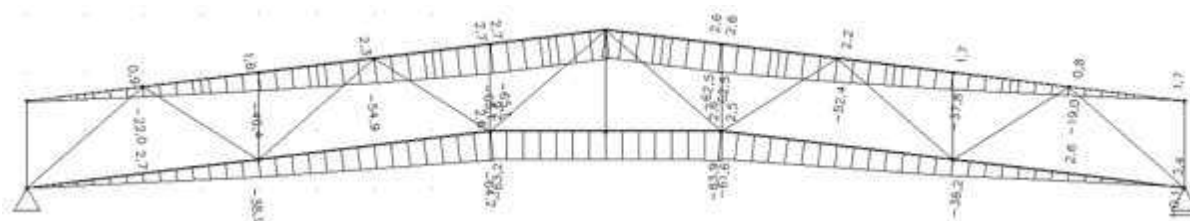
Tažené pruty		Tlačené pruty	
Prut	N_{Ed} (kN)	Prut	N_{Ed} (kN)
H	79,9	H	-275,7
S	275,05	S	-76
V_1	7,3	V_1	-25,3
V_2	7,3	V_2	-25,3
V_3	37,2	V_3	-11,5
V_4	7,3	V_4	-27,3
V_5	10,7	V_5	-27,3
D_1	179,1	D_1	-50,6
D_2	29,9	D_2	-106,5
D_3	47,65	D_3	-12,8
D_4	4	D_4	-16,15
D_5	7,7	D_5	-30,7
D_6	10,2	D_6	-36,3
D_7	7,65	D_7	-14,1
D_8	46,6	D_8	-12,8
D_9	29,8	D_9	-108,2
D_{10}	185,1	D_{10}	-50,6

4.1.4. (MSP) příhradových vazníků

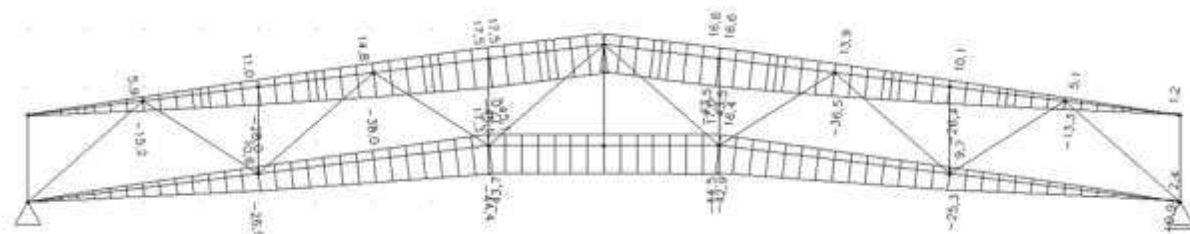
Rozhodující kombinace:

- svislý průhyb u vazníku č.1

kombinace max. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sních, vítr)

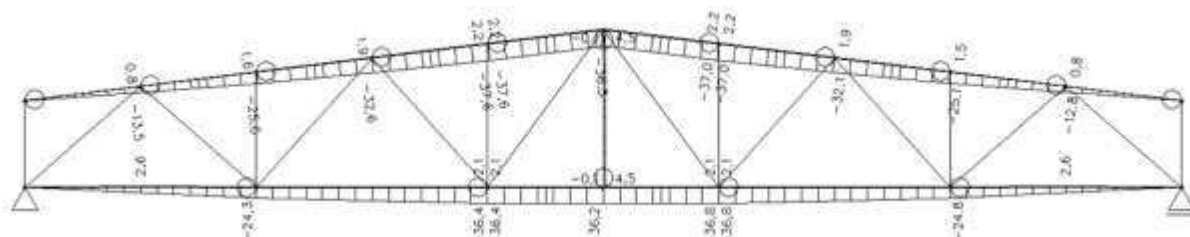


kombinace min. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sních, vítr)

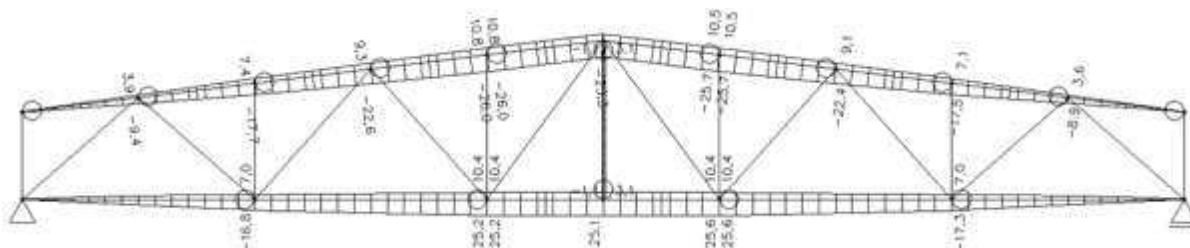


- svislý průhyb u vazníku č.2

kombinace max. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sních, vítr)



kombinace min. stálého zatížení a zatížení náhodilých (sních, vítr)



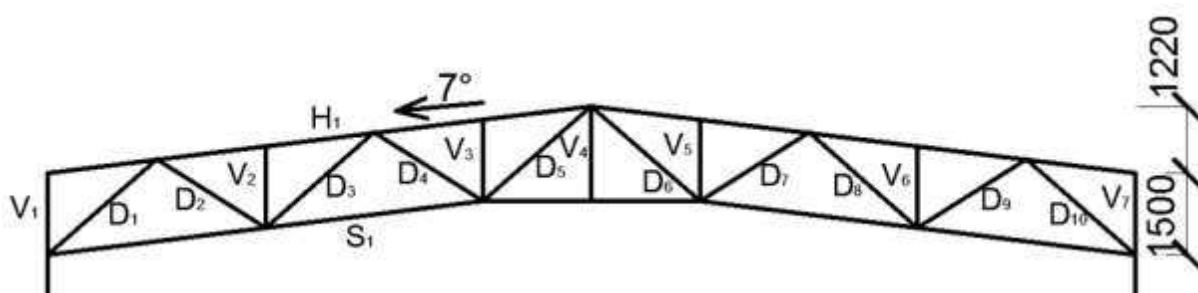
4.2 Posudek prutů

4.2.1. Posudek prutů u příhradového vazníku č.1

Pruty vazníku jsou navrženy z trubek válcovaných za tepla z oceli S235J0 ($f_y = 235$ Mpa)

Návrhová pevnost: $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{235}{1} = 235$ Mpa

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = (\text{kN})$$



Posudek prutů – tah

Tažené pruty					
Prut	N_{Ed} (kN)	Profil	A (mm ²)	$N_{t,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$
H	117,8	OBD,tr 100x80x6,3	2070	486,45	0,24
S	367,4	OBD,tr 110x110x5	2070	486,45	0,76
S₂	365,9	OBD,tr 110x110x5	2070	486,45	0,75
V₇	7,8	OBD,tr 70x40x2,9	595	139,83	0,06
D₂	139,1	OBD,tr 90x50x3,2	844	198,34	0,70
D₄	63,1	OBD,tr 40x40x2,9	421	98,93	0,64
D₅	59,9	OBD,tr 40x40x2,9	421	98,93	0,61
D₆	66,9	OBD,tr 40x40x2,9	421	98,93	0,68
D₇	59,9	OBD,tr 40x40x2,9	421	98,93	0,61
D₉	142,8	OBD,tr 90x50x3,2	844	198,34	0,72

Posudek prutů – tlak

Pruty vazníku jsou navrženy z obdélníkových trubek válcovaných za tepla z oceli S235J0

$$\text{Návrhová vzpěrná únosnost: } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{235}{1} = 235 \text{ Mpa} \quad N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$ -> křivka vzpěrné pevnosti pro duté průřezy válcované za tepla “a”:

$$a = \alpha = 0,21$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad \dots \text{poměrná štíhlost} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L^2} \quad \dots \text{pružná kritická síla}$$

Ukázka výpočtu tlačného prutu H:

$$L_{cr} = L_{cr,k} \cdot L = 0,9 \cdot 2015 = 1813,5$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L_{cr}^2} = \frac{3,14^2 \cdot 210000 \cdot 1960000}{1814^2} = 1235,21 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2070 \cdot 235}{1235,21 \cdot 10^3}} = 0,627$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21(0,627 - 0,2) + 0,627^2] = 0,741$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,741 + \sqrt{0,741^2 - 0,627^2}} = 0,879$$

$$\sigma_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{E I}{A \cdot L_{cr}^2} = 3,14^2 \cdot \frac{210000 \cdot 1960000}{2070 \cdot 1814^2} = 596,16 \text{ Pa}$$

$$\lambda = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{cr}}} = 3,14 \cdot \sqrt{\frac{210000}{596,16}} = 58,93$$

Tlačené pruty – stránka č.1

Prut	N_{Ed}	Profil	A mm	L mm	L_{cr}	$L_{cr,k}$	I_z (mm⁴)	I_y (mm⁴)	$\bar{\lambda}_z$	$\bar{\lambda}_y$
H	-413,6	OBD,tr 100x80x6,3	2070	2015	1814	0,9	1960000	2800000	0,627	0,525
S	-89,5	OBD,tr 110x110x5	2070	8060	8060	1	3780000	3780000	2,008	2,008
V_{1,2,6,7}	-27,4	OBD,tr 80x40x2,9	595	1500	1125	0,75	155000	378000	0,742	0,475
V_{3,5}	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	421	1500	1125	0,75	95400	95400	0,795	0,795
D₁	-201,3	OBD,tr 90x50x5,6	1410	2654	1991	0,75	530000	1380000	0,996	0,617
D₃	-112,3	OBD,tr 90x50x3,2	844	2654	1991	0,75	353000	891000	1,03	0,652
D₈	-112,3	OBD,tr 90x50x3,2	844	2654	1991	0,75	353000	891000	1,03	0,652
D₁₀	-208,6	OBD,tr 90x50x5,6	1410	2654	1991	0,75	530000	1380000	0,996	0,617

Tlačené pruty – stránka č.2

Prut	N_{Ed}	Profil	\emptyset_z	\emptyset_y	λ_z	λ_y	$N_{cr,z}$ (kN)	$N_{cr,y}$ (kN)
H	-413,6	OBD,tr 100x80x6,3	0,741	0,672	58,93	49,31	1235,21	1764,58
S	-89,5	OBD,tr 110x110x5	2,706	2,706	188,61	188,61	120,60	120,60
V_{1,2,6,7}	-27,4	OBD,tr 80x40x2,9	0,832	0,641	69,70	44,63	253,83	619,02
V_{3,5}	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	0,879	0,879	74,73	74,73	156,23	156,23
D₁	-201,3	OBD,tr 90x50x5,6	1,079	0,734	93,53	57,96	334,01	869,68
D₃	-112,3	OBD,tr 90x50x3,2	1,124	0,760	97,33	61,26	184,66	466,09
D₈	-112,3	OBD,tr 90x50x3,2	1,124	0,760	97,33	61,26	184,66	466,09
D₁₀	-208,6	OBD,tr 90x50x5,6	1,079	0,734	93,53	57,96	334,01	869,68

Tlačené pruty – stránka č.3

Prut	N_{Ed}	Profil	χ_z	χ_y	$N_{bz,Rd}$ (kN)	$N_{by,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{bz,Rd}$	$N_{Ed}/N_{by,Rd}$
H	-413,6	OBD,tr 100x80x6,3	0,879	0,916	427,70	445,74	0,97	0,93
S	-89,5	OBD,tr 110x110x5	0,221	0,221	107,59	107,59	0,83	0,83
$V_{1,2,6,7}$	-27,3	OBD,tr 80x40x2,9	0,827	0,931	115,64	130,29	0,24	0,21
$V_{3,5}$	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	0,798	0,798	78,96	78,96	0,35	0,35
D_1	-201,3	OBD,tr 90x50x5,6	0,668	0,883	221,47	292,69	0,91	0,69
D_3	-112,3	OBD,tr 90x50x3,2	0,640	0,869	126,9	172,36	0,88	0,65
D_8	-112,3	OBD,tr 90x50x3,2	0,640	0,869	126,9	172,36	0,88	0,65
D_{10}	-208,6	OBD,tr 90x50x5,6	0,668	0,883	221,47	292,69	0,94	0,71

Výpočet celkové zátěže oceli příhradového vazníku:

Pro posouzení tíhy oceli vycházím s objemové hmotnosti oceli 7850 kg/m³.

Vlastní tíha prutů u příhradového vazníku č.2

Profil	Prut	A (mm²)	L (mm)	Celková hmotnost (kg)	Počet ks. na 1 příhradový vazník	Celková hm. prutů na př. vazník
OBD,tr 100x80x6,3	H	2070	2015	32,74	10	327,4
OBD,tr 110x110x5	S	2070	8060	130,97	2	261,94
OBD,tr 110x110x5	S	2070	4000	65	1	65
OBD,tr 80x40x2,9	$V_{1,7}$	595	1500	7	2	14
OBD,tr 80x40x2,9	$V_{2,6}$	595	1500	7	2	14
OBD,tr 40x40x2,9	$V_{3,5}$	421	1500	4,96	2	9,92
OBD,tr 40x40x2,9	V_4	421	1744	5,76	1	5,76
OBD,tr 90x50x5,6	$D_{1,10}$	1410	2654	29,37	2	58,74
OBD,tr 70x40x2,9	$D_{2,9}$	595	2654	12,39	2	24,78
OBD,tr 90x50x3,2	$D_{3,8}$	844	2654	17,58	2	35,16
OBD,tr 40x40x2,9	$D_{4,7}$	421	2654	8,77	2	17,54
OBD,tr 40x40x2,9	$D_{5,6}$	421	2654	8,77	2	17,54
					Celkem:	851,78

4.2.1.1. Posudek styčnicku příhradového vazníku č.1

Pro výběr styčnicku jsem zvolil styčnick kde se sbíhají diagonální pruty D_8 , D_9 a svislý pás V_6 se spodním pásem.

Druhý výpočet byl proveden styčnick spojující diagonální pruty D_9 , D_{10} s horním pásem.

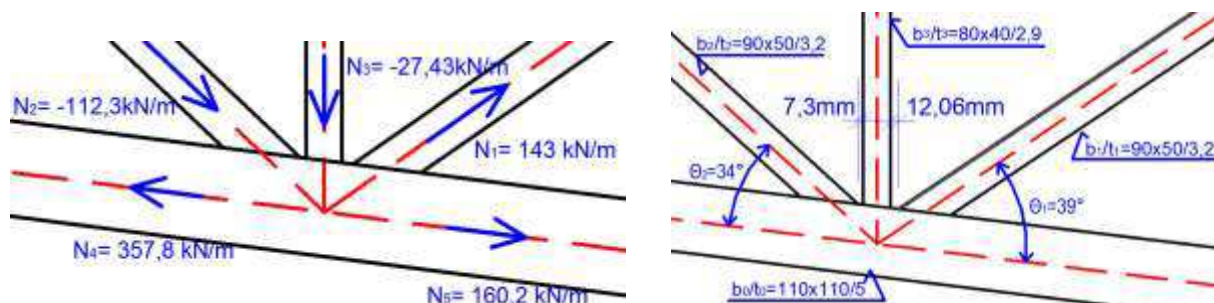
Posouzen bude pouze rozhodující styčnick vazníku, tedy takový, kde je největší síla ve vnitřním prutu.

Krajní pravý styčnick KT spodního pásu:

Ověření geometrických podmínek:

$$g_1 = 7,3\text{mm}$$

$$g_2 = 12,06\text{mm}$$



Podmínka: $g = 7,3\text{mm} \geq t_1 + t_3 = 2,9 + 3,2 = 6,1\text{mm}$ je splněna

Únosnost na porušení smykem:

$$N_{i,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_V}{\sqrt{3} \sin \theta_1} / \gamma_{M5}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 12,06^2}{3 \cdot 5^2}}} = 0,144$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 110 + 0,144 \cdot 110) \cdot 5 = 1179 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{235 \cdot 1179}{\sqrt{3} \sin 39} / 1 = 201,64 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 201,64 \geq N_{Ed} = 143 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE NA PORUŠENÍ SMYKEM

Únosnost na prolomení pásu:

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1} \left(\frac{b_1 + b_2 + b_3 + h_3 + h_1 + h_2}{6 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M,5}} \quad \dots \text{únosnost pro tlačnou diagonal } d_1$$

- hodnota součinitele k_n lze určit dle vztahu:

$$\text{Pro } n_p > 0 \text{ (tlak): } k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}, \text{ ale } k_n \leq 1,0$$

$$\text{Pro } n_p < 0 \text{ (tah): } k_n = 1$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{110}{2 \cdot 5} = 11$$

$$N_{2,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 1,235 \cdot 5^2 \cdot \sqrt{11}}{\sin 34} \left(\frac{90 + 90 + 80 + 50 + 50 + 40}{6 \cdot 110} \right)}{1} = 187,95 \text{ kN}$$

$$112,3 \sin 34 + 27,43 \sin 83 \leq 187,95 \cdot \sin 34$$

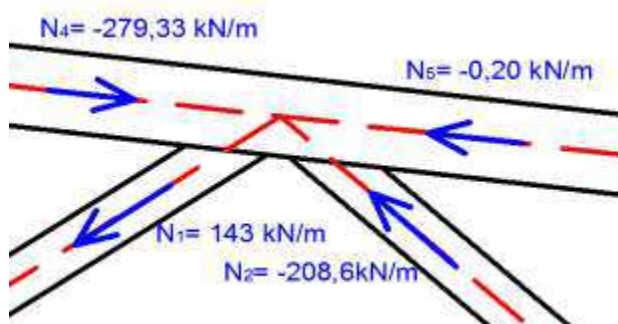
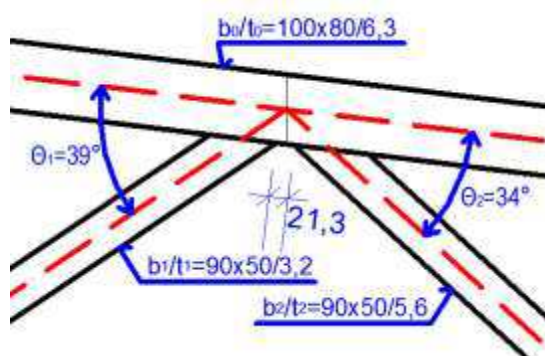
$$90,02 \text{ kN} \leq 105,10 \text{ kN}$$

$$143 \sin 39 \leq 187,95 \cdot \sin 34$$

$$90 \text{ kN} \leq 105,10 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE VE STYČNÍKU NA PROLOMENÍ

Horní pravý styčník K horního pásu:



Podmínka: $g_1 = 12,06\text{mm} \geq t_1 + t_3 = 2,9 + 3,2 = 6,1\text{mm}$ je splněna

Únosnost na porušení smykem:

$$N_{i,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} \cdot A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_1} / \gamma_{M5}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 21,3^2}{3 \cdot 6,3^2}}} = 0,248$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 100 + 0,248 \cdot 100) \cdot 6,3 = 1416 \text{ mm}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{235 \cdot 1416}{\sqrt{3} \sin 34} / 1 = 444,99 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = 444,99 \geq N_{Ed} = 208,6 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE NA PORUŠENÍ SMYKEM

Únosnost na prolomení pásu:

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \cdot \sqrt{\gamma}}{\sin \theta_1} \left(\frac{b_1 + b_2 + h_1 + h_2}{4 \cdot b_0} \right)}{\gamma_{M,5}} \quad \dots \text{únosnost pro tlačnou diagonal } D_1$$

- hodnota součinitele k_n lze určit dle vztahu:

$$\text{Pro } n_p > 0 \text{ (tlak): } k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}, \text{ ale } k_n \leq 1,0$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = \frac{90 + 90}{2 \cdot 100} = 0,9$$

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta} = 1,3 - \frac{0,4 \cdot 1}{0,9} = 0,85$$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{100}{2 \cdot 6,3} = 7,94$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 0,85 \cdot 235 \cdot 6,3^2 \cdot \sqrt{7,94}}{\sin 34} \left(\frac{90 + 90 + 50 + 50}{4 \cdot 100} \right)}{1} = 248,88 \text{ kN}$$

$$208,6 \sin 34 \leq 248,88 \sin 34$$

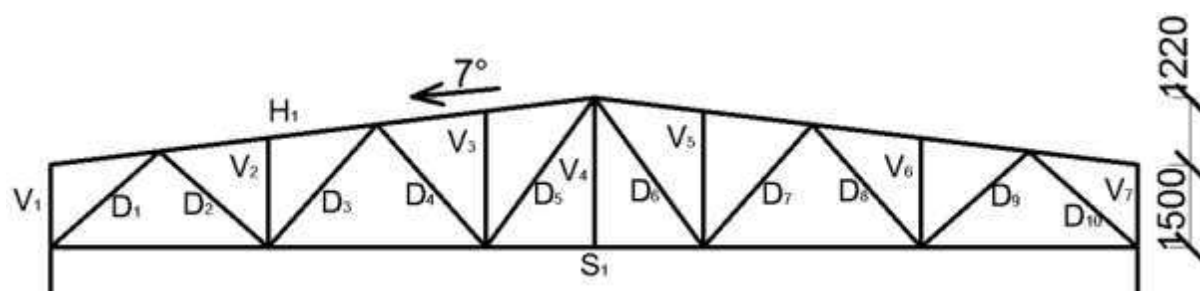
$$116,65 \text{ kN} \leq 139,17 \text{ kN}$$

$$143 \sin 39 \leq 248,88 \cdot \sin 34$$

$$90 \text{ kN} \leq 139,17 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE VE STYČNÍKU NA PROLOMENÍ

4.2.2. Posudek prutů u příhradového vazníku č.2



Posudek prutů – tah

Pruty vazníku jsou navrženy z trubek válcovaných za tepla z oceli S235J0 ($f_y = 235$ Mpa)

Návrhová pevnost: $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} =$ (kN)

Tažené pruty					
Prut	N_{Ed} (kN)	Profil	A (mm ²)	$N_{t,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$
H	77,85	OBD, tr 90x90x3,6	1230	289,05	0,27
S	245,2	OBD, tr 110x110x5	1680	394,80	0,62
V ₇	7,9	OBD, tr 60x40x2,9	537	126,20	0,06
D _{2,9}	98,8	OBD, tr 70x40x2,9	844	198,34	0,70
D _{4,7}	18,1	OBD, tr 40x40x2,9	421	98,93	0,64
D _{5,6}	33,3	OBD, tr 40x40x2,9	421	98,93	0,61

Posudek prutů – tlak

Pruty vazníku jsou navrženy z obdélníkových trubek válcovaných za tepla z oceli S235J0 ($f_y = 235$ Mpa)

Tlačené pruty – stránka č.1										
Prut	N_{Ed}	Profil	A mm ²	L mm	L_{cr}	$L_{cr,k}$	I_z (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	$\bar{\lambda}_z$	$\bar{\lambda}_y$
H	-249,9	OBD, tr 90x90x3,6	1230	2015	1814	0,9	1520000	1520000	0,549	0,549
S	-59,7	OBD, tr 110x110x5	1680	8000	8000	1	3130000	3130000	1,973	1,973
V _{1,7}	-13,5	OBD, tr 60x40x2,9	537	1500	1125	0,75	135000	258000	0,755	0,546
V _{2,6}	-27,3	OBD, tr 60x40x2,9	537	1988	1491	0,75	135000	258000	1,001	0,724
V _{3,5}	-27,3	OBD, tr 40x40x2,9	421	2476	1857	0,75	95400	95400	1,313	1,313
D _{1,10}	-173	OBD, tr 90x50x5	1270	2654	1991	0,75	492000	1270000	1,076	0,670
D _{3,8}	-51,6	OBD, tr 70x40x2,9	595	2997	2248	0,75	155000	378000	1,73	0,949

Tlačené pruty – stránka č.2

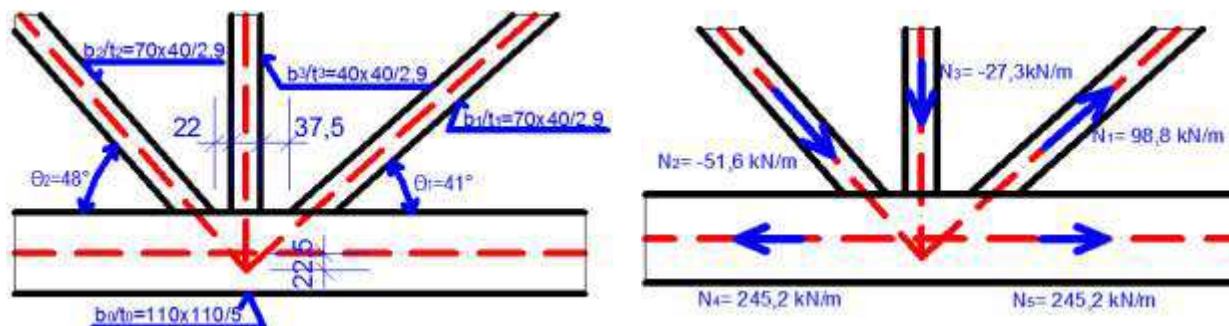
Prut	N_{Ed}	Profil	θ_z	θ_y	λ_z	λ_y	$N_{cr,z}$ (kN)	$N_{cr,y}$ (kN)
H	-249,9	OBD,tr 90x90x3,6	0,687	0,687	51,58	51,58	957,91	957,91
S	-59,7	OBD,tr 110x110x5	2,633	2,633	185,34	185,34	101,36	101,36
V_{1,7}	-13,5	OBD,tr 60x40x2,9	0,843	0,685	70,95	51,32	221,08	422,05
V_{2,6}	-27,3	OBD,tr 60x40x2,9	1,085	0,817	94,03	68,02	125,86	240,54
V_{3,5}	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	1,479	1,479	123,36	123,36	57,33	57,33
D_{1,10}	-173	OBD,tr 90x50x5	1,171	0,774	101,13	62,95	257,37	664,35
D_{3,8}	-51,6	OBD,tr 70x40x2,9	1,734	1,029	139,26	89,17	63,58	155,06

Tlačené pruty – stránka č.3

Prut	N_{Ed}	Profil	χ_z	χ_y	$N_{bz,Rd}$ (kN)	$N_{by,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{bz,Rd}$	$N_{Ed}/N_{by,Rd}$
H	-249,9	OBD,tr 90x90x3,6	0,908	0,908	262,52	262,52	0,95	0,95
S	-59,7	OBD,tr 110x110x5	0,228	0,228	90,18	90,18	0,66	0,66
V_{1,7}	-13,5	OBD,tr 60x40x2,9	0,820	0,909	103,49	114,73	0,13	0,12
V_{2,6}	-27,3	OBD,tr 60x40x2,9	0,664	0,836	83,88	105,50	0,33	0,26
V_{3,5}	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	1,479	1,479	45,78	45,78	0,60	0,60
D_{1,10}	-173	OBD,tr 90x50x5	0,611	0,861	182,64	257,05	0,95	0,67
D_{3,8}	-51,6	OBD,tr 70x40x2,9	0,380	0,700	53,10	97,95	0,97	0,53

4.2.2.1. Posudek styčníku příhradového vazníku č.2

Pro výběr styčníku jsem zvolil styčník kde se sbíhají diagonální pruty D_8 , D_9 a svislý pás V_6 se spodním pásem.



$$g_1 = 22 \text{ mm}, g_2 = 37,5 \text{ mm}$$

Podmínka: $g = 22 \text{ mm} \geq t_1 + t_3 = 2,9 + 2,9 = 5,8 \text{ mm}$ je splněna

Únosnost na porušení smykem:

$$N_{i,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 22^2}{3 \cdot 5^2}}} = 0,678$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 110 + 0,678 \cdot 100) \cdot 5 = 1439 \text{ mm}$$

$$N_{2,Rd} = \frac{235 \cdot 1439}{\sqrt{3} \sin 41} / 1 = 241,04 \text{ kN}$$

$$N_{2,Rd} = 241,04 \geq N_{Ed} = 98,8 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE NA PORUŠENÍ SMYKEM

Únosnost na prolomení pásu:

- hodnota součinitele k_n lze určit dle vztahu:

Pro $n_p > 0$ (tlak): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$, ale $k_n \leq 1,0$

Pro $n_p < 0$ (tah): $k_n = 1$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{110}{2 \cdot 5} = 11$$

$$N_{1,Rd} = \frac{\frac{8,9 \cdot 1,235 \cdot 5^2 \cdot \sqrt{11}}{\sin 48} \left(\frac{70+70+60+40+40+40}{6 \cdot 110} \right)}{1} = 113,13 \text{ kN}$$

$$51,6 \sin 48 + 27,43 \sin 90 \leq 113,13 \cdot \sin 48$$

$$65,77 \text{ kN} \leq 84,07 \text{ kN}$$

$$98,74 \sin 41 \leq 113,13 \cdot \sin 48$$

$$64,78 \text{ kN} \leq 84,07 \text{ kN}$$

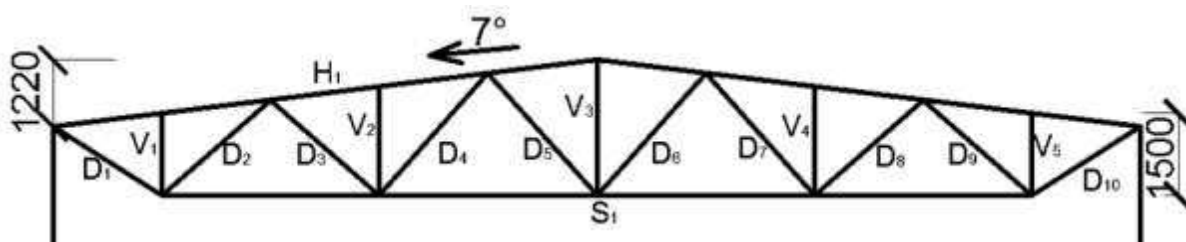
PÁS VYHOVUJE VE STYČNÍKU NA PROLOMENÍ

Výpočet celkové zátěže oceli příhradového vazníku:

Objemová hmotnost oceli 7850 kg/m³.

Vlastní tíha prutů u příhradového vazníku č.2						
Profil	Prut	A (mm ²)	L (mm)	Celková tíha (kg)	Počet ks. na 1 příhradový vazník	Celková tíha prutů na 1 příhradový vazník
OBD, tr 90x90x3,6	H	1230	2015	19,45	10	194,5
OBD, tr 110x110x5	S	1680	8000	105,5	2	211
OBD, tr 110x110x5	S	1680	4000	52,75	1	52,75
OBD, tr 60x40x2,9	V _{1,7}	537	1500	6,32	2	12,64
OBD, tr 60x40x2,9	V _{2,6}	537	1988	8,38	2	16,76
OBD, tr 40x40x2,9	V _{3,5}	421	2476	8,18	2	16,36
OBD, tr 40x40x2,9	V ₄	421	2720	8,99	1	8,99
OBD, tr 90x50x5	D _{1,10}	1270	2654	26,45	2	52,9
OBD, tr 70x40x2,9	D _{2,9}	595	2654	12,40	2	24,8
OBD, tr 70x40x2,9	D _{3,8}	595	2997	14	2	28
OBD, tr 40x40x2,9	D _{4,7}	421	2997	9,90	2	19,8
OBD, tr 40x40x2,9	D _{5,6}	421	3376	11,16	2	22,32
					Celkem:	660,82

4.2.3. Posudek prutů u příhradového vazníku č.3



Posudek prutů – tah

Pruty vazníku jsou navrženy z trubek válcovaných za tepla z oceli S235J0 ($f_y = 235$ Mpa)

Návrhová pevnost: $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} = (\text{kN})$

Tažené pruty					
Prut	N_{Ed} (kN)	Profil	A (mm ²)	$N_{t,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{t,Rd}$
H	79,9	OBD, tr 90x90x4	1360	319,60	0,25
S	275,05	OBD, tr 110x110x5	1680	394,80	0,70
V ₃	37,2	OBD, tr 40x40x2,9	421	126,20	0,29
D _{1,10}	185,1	OBD, tr 90x50x3,2	844	198,34	0,93
D _{3,8}	47,65	OBD, tr 40x40x2,9	421	98,93	0,64

Posudek prutů – tlak

Pruty vazníku jsou navrženy z obdélníkových trubek válcovaných za tepla z oceli S235J0 ($f_y = 235$ Mpa)

Tlačené pruty – stránka č.1										
Prut	N_{Ed}	Profil	A mm ²	L mm	L_{cr}	$L_{cr,k}$	I_z (mm ⁴)	I_y (mm ⁴)	$\bar{\lambda}_z$	$\bar{\lambda}_y$
H	-275,7	OBD, tr 90x90x4	1360	2015	1814	0,9	1660000	1660000	0,552	0,552
S	-76	OBD, tr 110x110x5	1680	8000	8000	1	3130000	3130000	1,973	1,973
V _{1,5}	-27,3	OBD, tr 80x40x2,9	653	1500	1125	0,75	175000	527000	0,731	0,421
V _{2,4}	-27,3	OBD, tr 40x40x2,9	421	1988	1491	0,75	95400	95400	1,054	1,054
V ₃	-11,5	OBD, tr 40x40x2,9	421	2476	1857	0,75	95400	95400	1,313	1,313
D _{2,9}	-108,2	OBD, tr 90x50x3,2	844	2654	1991	0,75	353000	891000	1,036	0,652
D _{4,7}	-16,2	OBD, tr 40x40x2,9	421	2997	2248	0,75	95400	95400	1,589	1,589
D _{5,6}	-36,3	OBD, tr 40x40x3,2	510	2997	2248	0,75	111000	111000	1,622	1,622

Tlačené pruty – stránka č.2

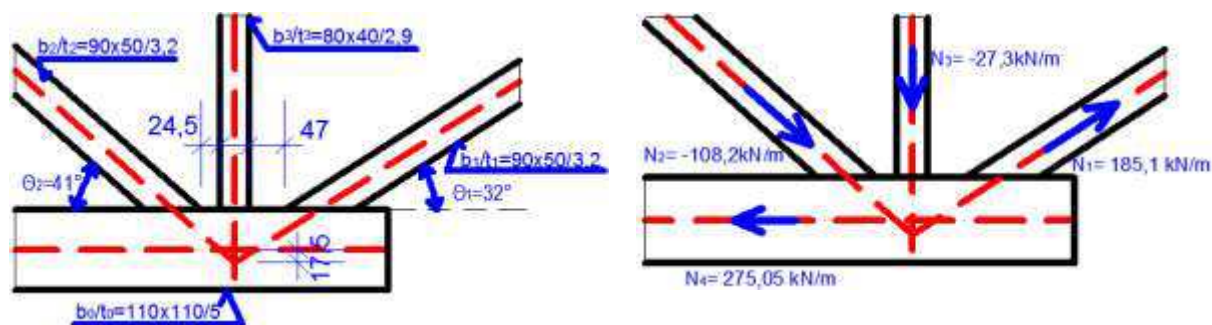
Prut	N_{Ed}	Profil	\varnothing_z	\varnothing_y	λ_z	λ_y	$N_{cr,z}$ (kN)	$N_{cr,y}$ (kN)
H	-275,7	OBD,tr 90x90x4	0,689	0,689	51,90	51,90	1046,15	1046,15
S	-76	OBD,tr 110x110x5	2,633	2,633	185,34	185,34	101,36	101,36
V_{1,5}	-27,3	OBD,tr 80x40x2,9	0,823	0,612	68,72	39,60	286,58	863,02
V_{2,4}	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	1,146	1,146	99,04	99,04	88,94	88,94
V₃	-11,5	OBD,tr 40x40x2,9	1,479	1,479	123,36	123,36	57,33	57,33
D_{2,9}	-108,2	OBD,tr 90x50x3,2	1,124	0,760	97,32	61,26	184,66	466,09
D_{4,7}	-16,2	OBD,tr 40x40x2,9	1,909	1,909	149,31	149,31	39,14	39,14
D_{5,6}	-36,3	OBD,tr 40x40x3,2	1,965	1,965	152,36	152,36	45,53	45,53

Tlačené pruty – stránka č.3

Prut	N_{Ed}	Profil	χ_z	χ_y	$N_{bz,Rd}$ (kN)	$N_{by,Rd}$ (kN)	$N_{Ed}/N_{bz,Rd}$	$N_{Ed}/N_{by,Rd}$
H	-275,7	OBD,tr 90x90x4	0,907	0,907	289,89	289,89	0,95	0,95
S	-76	OBD,tr 110x110x5	0,228	0,228	90,18	90,18	0,84	0,84
V_{1,5}	-27,3	OBD,tr 80x40x2,9	0,832	0,946	127,72	145,32	0,21	0,19
V_{2,4}	-27,3	OBD,tr 40x40x2,9	0,627	0,627	62,07	62,07	0,44	0,44
V₃	-11,5	OBD,tr 40x40x2,9	1,479	1,479	45,78	45,78	0,25	0,25
D_{2,9}	-108,2	OBD,tr 90x50x3,2	0,640	0,869	126,96	172,36	0,85	0,63
D_{4,7}	-16,2	OBD,tr 40x40x2,9	0,336	0,336	33,33	33,33	0,49	0,49
D_{5,6}	-36,3	OBD,tr 40x40x3,2	0,325	0,325	38,97	38,97	0,93	0,93

4.2.3.1. Posudek styčnicku příhradového vazníku č.3

Pro výběr styčnicku jsem zvolil styčnick kde se sbíhají diagonální pruty D_{10} , D_9 a svislý pás V_5 se spodním pásem.



$$g_1 = 22 \text{ mm}, g_2 = 47 \text{ mm}$$

Podmínka: $g = 24,5 \text{ mm} \geq t_1 + t_3 = 3,2 + 3,2 = 6,4 \text{ mm}$ je splněna

Únosnost na porušení smykem:

$$N_{i,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4g^2}{3t_0^2}}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{4 \cdot 24,5^2}{3 \cdot 110^2}}} = 0,174$$

$$A_v = (2 \cdot h_0 + \alpha b_0) \cdot t_0 = (2 \cdot 110 + 0,174 \cdot 110) \cdot 5 = 1195,7 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{235 \cdot 1195,7}{\sqrt{3} \sin 32} / 1 = 222,85 \text{ kN}$$

$$N_{1,Rd} = 222,85 \geq N_{Ed} = 185,1 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE NA PORUŠENÍ SMYKEM

Únosnost na prolomení pásu:

- hodnota součinitele k_n lze určit dle vztahu:

Pro $n_p > 0$ (tlak): $k_n = 1,3 - \frac{0,4n}{\beta}$, ale $k_n \leq 1,0$

Pro $n_p < 0$ (tah): $k_n = 1$

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{110}{2 \cdot 5} = 11$$

$$N_{2,Rd} = \frac{8,9 \cdot 1,235 \cdot 5^2 \cdot \sqrt{11} \left(\frac{90+90+80+50+50+40}{6 \cdot 110} \right)}{\sin 41} = 160,19 \text{ kN}$$

$$108,2 \sin 41 + 27,3 \sin 90 \leq 160,19 \cdot \sin 41$$

$$98,29 \text{ kN} \leq 105,09 \text{ kN}$$

$$185,1 \sin 32 \leq 160,19 \cdot \sin 41$$

$$98,08 \text{ kN} \leq 105,09 \text{ kN}$$

PÁS VYHOVUJE VE STYČNÍKU NA PROLOMENÍ

Výpočet celkové zátěže oceli příhradového vazníku:

Objemová hmotnost oceli 7850 kg/m³.

Vlastní tíha prutů u příhradového vazníku č.3						
Profil	Prut	A (mm ²)	L (mm)	Celková tíha (kg)	Počet ks. na 1 příhradový vazník	Celková tíha prutů na 1 příhradový vazník
OBD,tr 90x90x4	H	1360	2015	21,51	10	215,1
OBD,tr 110x110x5	S	1680	8000	105,5	2	211
OBD,tr 80x40x2,9	V _{1,5}	653	1500	7,69	2	15,38
OBD,tr 40x40x2,9	V _{2,4}	421	1988	6,57	2	13,14
OBD,tr 40x40x2,9	V ₃	421	2476	8,18	1	8,18
OBD,tr 90x50x3,2	D _{1,10}	844	2362	15,64	2	31,28
OBD,tr 90x50x3,2	D _{2,9}	844	2654	17,58	2	35,17
OBD,tr 40x40x2,9	D _{3,8}	421	2654	8,77	2	17,54
OBD,tr 40x40x2,9	D _{4,7}	421	2997	9,90	2	19,8
OBD,tr 40x40x3,2	D _{5,6}	510	2997	11,99	2	23,98
					Celkem:	590,57

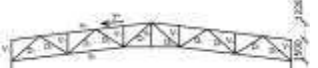
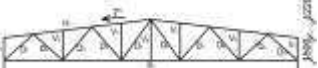
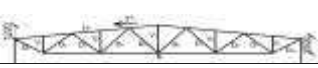
4.3. Porovnání příhradových vazníků:

Pro srovnání všech tří typů příhradových vazníků byly použity obdelníkové či čtvercové duté za tepla tvarované profily. Při jednotlivých výpočtech bylo přihlíženo na únosnost a štíhlost vyšetřovaného profilu. Všechny navržené profily splňují podmínku únosnosti a štíhlosti:

$$\lambda \leq 200$$

Velkým dílem ovlivnila výpočet prutů závislost na únosnost na prolomení pásu a porušení smykem.

Rozhodujícím faktorem pro porovnání příhradových vazníků byla skutečnost celkové váhy použití materialu na vyšetřovanou konstrukci.

Typ vazníku	Celková hmotnost jednoho vazníku (kg)	Celková hmotnost příhradových vazníků na celou halu. (kg)	Rozdíl od nejlehčí hmotnosti příhradového vazníku (č.3) (%)
Příhradový vazník č.1 	851,78	5962,46	30%
Příhradový vazník č.2 	660,82	4625,74	11%
Příhradový vazník č.3 	590,57	3543,42	0

Nejlepší řešení se po ekonomické stránce ukázala varianta příhradového vazníku č.3. Jeho výhodou je také příčné ztužení, které je pouze uprostřed rozpětí, ale do celkové tíhy příhradové konstrukce nebylo vzané v potaz.

Druhou nejlepší variantou byla příhradová konstrukce č.2. Zde se jednalo o nejlepší variantu z hlediska průhybu, který zde byl nejmenší.

Nejhorší variantou byla příhradová konstrukce č.1. Byl zde i největší průhyb, který ale stále vyhovoval požadavkům norem. Tahle konstrukce má zřejmě výhodu v použití zejména středního nadvýšení spodního pásu, tím pádem zvětšení plochy.

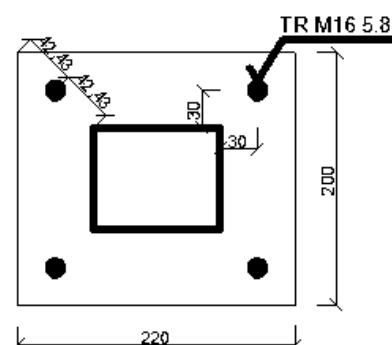
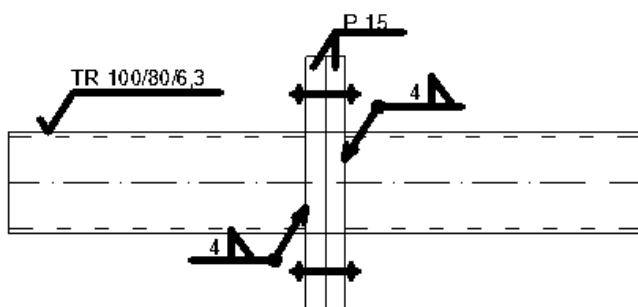
Pro další výpočet montážních styků a nákresu výrobní dokumentace jsem zvolil variantu č.1

5. Montážní styky:

5.3. Horní pás:

$N_{c,Ed} = -412,8 \text{ kN}$ (tlaková síla v místě spoje)

$N_{t,Ed} = 24,8 \text{ kN}$ (tahová síla v místě spoje)



Posudek šroubů na tlak vlivem páčení.

Návrh: 4xM16 5.8

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

Porovnání:

$$F_{t,Ed} = \gamma_p \cdot F$$

minimální tloušťka příruby, při které se nemusí páčení šroubů uvažovat:

$$t_e = 4,3 \left(\frac{b \cdot d^2}{a} \right)^{\frac{1}{3}} = 4,3 \left(\frac{30 \cdot 16^2}{30} \right)^{\frac{1}{3}} = 27,3 \text{ mm} \geq t = 15 \text{ mm}, \text{ dochází k páčení.}$$

součinitel působící zvětšení síly vlivem páčení:

$$\gamma_p = 1 + 0,005 \left(\frac{27,3^3 - 15^3}{16^2} \right) = 1,33$$

Tahová síla vyvodí sílu $N_{t,Ed} = 24,8 \text{ kN}$

- pro jeden šroub: $F_{t,Ed} = 24,8 \cdot \gamma_p / 4 = 8,25 \text{ kN} < F_{t,Rd} 56,52 \text{ kN}$ VYHOVUJE

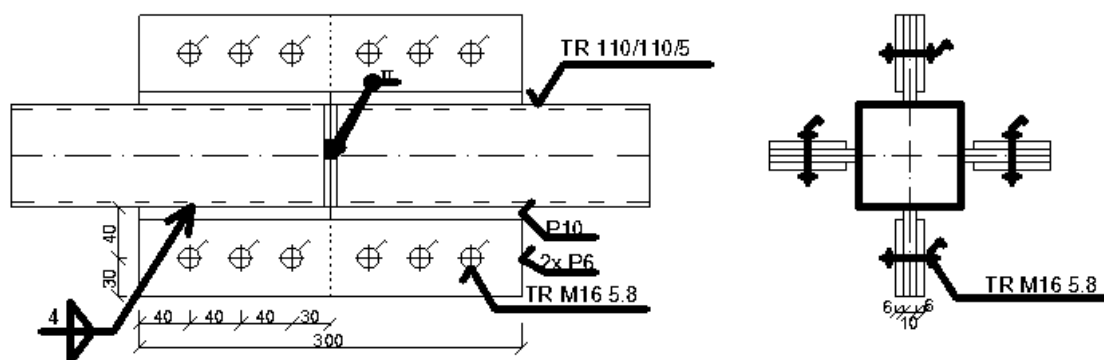
Tlak se přenáší kontaktem.

5.4. Dolní pás

$$N_{t,Ed} = 365,6 \text{ kN}$$

Je navržen příložkový styk s tzv. křídélky 70x10 mm

Síla na jedno křídélko: $N_{Ed} = 91,4 \text{ kN}$



Šrouby: 2xM16 5.8

Únosnost ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 37,68 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 3 \cdot 37,68 = 113,04 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 91,4 \text{ kN}$$

, kde: α_v ... pevnostní třída pro 5.6 (rovina stříhu prochází závitem šroubu) $\Rightarrow \alpha_v 0,6$

f_{ub} ... pevnostní třída šroubů $\Rightarrow f_{ub} = 500 \text{ MPa}$

A ... plocha jádra šroubu $\Rightarrow A(M16) = 157 \text{ mm}^2$

Únosnost v otláčení:
$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,8 \cdot 0,58 \cdot 355 \cdot 16 \cdot 10}{1,25}$$

$$F_{b,Rd} = 47,44 \text{ kN}$$

, kde: α_b ... je nejmenší z hodnot

$$\frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \text{ (pro koncové šrouby)}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \text{(pro vnitřní šrouby)}$$

$$\frac{400}{355} = 1,13; 1,0; \frac{30}{3 \cdot 16} = 0,625 \text{ (pro koncové šrouby)}; \frac{40}{3 \cdot 16} - \frac{1}{4} = 0,58 \text{ (pro vnitřní šrouby)}$$

, k_1 ... je nejmenší z hodnot

$$2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \text{ (pro krajní šrouby)}; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \text{ (pro vnitřní šrouby)}$$

$$2,5; 2,8 \cdot \frac{30}{16} - 1,7 = 3,55 \text{ (pro krajní šrouby)}; 1,4 \cdot \frac{40}{16} - 1,7 = 1,8 \text{ (pro vnitřní šrouby)}$$

Rozhoduje únosnost ve střihu:

Posudek:
$$4 \cdot F_{v,Ed} = 4 \cdot 113,04 = 452,16 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 365,6 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Příložky: 2x60x6 na jedno křídélko

Síla na jedno křídélko: $N_{Ed} = 91,4 \text{ kN}$

Posudek:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2 \cdot (60 - 18) \cdot 6 \cdot 510}{1,25} = 185 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 91,4 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Svar křídélek: oboustranný koutový, $a = 3 \text{ mm}$

Síla na jedno křídélko: $N_{Ed} = 91,4 \text{ kN}$

Posudek:

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{91,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 150} = 101,55 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot e}{W_{svar}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{91,4 \cdot 10^3 \cdot 40}{22500} = 114,90 \text{ Mpa}$$

$$W_{svar} = \left(\frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2 \right) \cdot 2 = \left(\frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 150^2 \right) \cdot 2 = 22500 \text{ mm}^3$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{114,90^2 + 3 \cdot (114,90^2 + 101,55^2)} = 289,39 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

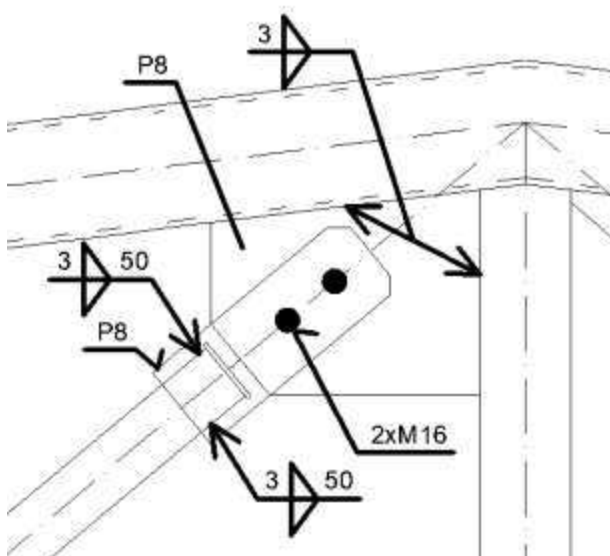
$$289,39 \text{ Mpa} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{\perp} = 114,90 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 408 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

5.5. Diagonála D5

$$N_{t,Ed} = 59,9 \text{ kN}$$

Je navržen příložkový styk s tzv. křídélky 70x10 mm



Šrouby: 2xM16 5.8

Únosnost ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 31,40 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 31,40 = 62,80 \text{ kN}$$

, kde: α_v ... pevnostní třída pro 5.8 (rovina střihu prochází závitem šroubu) $\Rightarrow \alpha_v 0,5$

f_{ub} ... pevnostní třída šroubů $\Rightarrow f_{ub} = 500 \text{ MPa}$

A ... plocha jádra šroubu $\Rightarrow A(M16) = 157 \text{ mm}^2$

Únosnost v otláčení: $F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{1,8 \cdot 0,58 \cdot 355 \cdot 16 \cdot 8}{1,25}$

$$F_{b,Rd} = 37,95 \text{ kN}$$

, kde: α_b ... je nejmenší z hodnot

$$\frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0; \frac{e_1}{3d_0} \text{ (pro koncové šrouby)}; \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \text{(pro vnitřní šrouby)}$$

$$\frac{400}{355} = 1,13; 1,0; \frac{30}{3 \cdot 16} = 0,625 \text{ (pro koncové šrouby)}; \frac{40}{3 \cdot 16} - \frac{1}{4} = 0,58 \text{ (pro vnitřní šrouby)}$$

k_1 ... je nejmenší z hodnot

$$2,5; 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \text{ (pro krajní šrouby)}; 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \text{ (pro vnitřní šrouby)}$$

$$2,5; 2,8 \cdot \frac{30}{16} - 1,7 = 3,55 \text{ (pro krajní šrouby)}; 1,4 \cdot \frac{40}{16} - 1,7 = 1,8 \text{ (pro vnitřní šrouby)}$$

Posudek: $F_{v,Ed} = 2 \cdot 31,40 = 62,80 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 59,9 \text{ kN}$

VYHOVUJE

Příložky: 1x60x8 na jedno křídélko

Síla na jedno křídélko: $N_{Ed} = 59,9 \text{ kN}$

Posudek:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot (60 - 18) \cdot 8 \cdot 510}{1,25} = 123 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 59,9 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

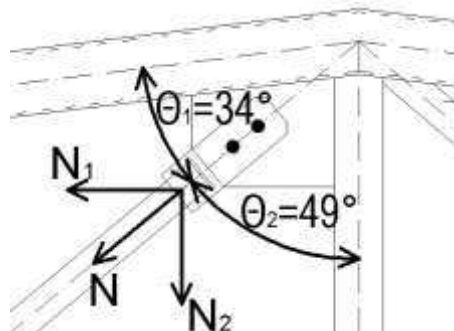
Svar křídélek: oboustranný koutový, $a = 3 \text{ mm}$

Síla na jedno křídélko: $N_{Ed} = 59,9 \text{ kN}$

$$N_{1,Ed} = \frac{(\sin(49) \cdot 59,90)}{\cos(7)} = 45,55 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed} = \cos(49) \cdot 59,90 = 39,30 \text{ kN}$$

Posudek: $N_{1,Ed} = 45,55 \text{ kN}$



$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{45,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 175} = 43,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot e}{W_{svar}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{45,55 \cdot 10^3 \cdot 50}{30625} = 52,58 \text{ Mpa}$$

$$W_{svar} = \left(\frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2 \right) \cdot 2 = \left(\frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 175^2 \right) \cdot 2 = 30625 \text{ mm}^3$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{52,58^2 + 3 \cdot (52,58^2 + 43,33^2)} = 129,19 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

$$129,19 \text{ Mpa} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} = 52,58 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 408 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posudek: $N_{2,Ed} = 39,30 \text{ kN}$

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{39,30 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot 130} = 50,38 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot e}{W_{svar}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{39,30 \cdot 10^3 \cdot 95}{16900} = 156,18 \text{ Mpa}$$

$$W_{svar} = \left(\frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2 \right) \cdot 2 = \left(\frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 130^2 \right) \cdot 2 = 16900 \text{ mm}^3$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{156,18^2 + 3 \cdot (156,18^2 + 50,38^2)} = 324,32 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

$$324,32 \text{ Mpa} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} = 156,18 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 408 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Svar obdelníkové trubky a příložky: oboustranný koutový, a = 4mm po délce 50mm

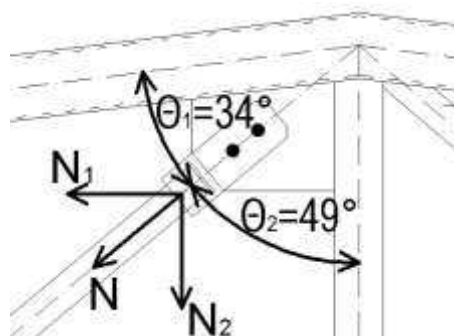
Síla na příložku: $N_{Ed} = 59,9 \text{ kN}$

Posudek:

$$\tau_{II} = \frac{N_{Ed}}{4 \cdot a \cdot l} = \frac{59,9 \cdot 10^3}{4 \cdot 4 \cdot 50} = 74,88 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed} \cdot e}{W_{svar}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{59,9 \cdot 10^3 \cdot 20}{6666} = 127,08 \text{ Mpa}$$

$$W_{svar} = \left(\frac{1}{6} \cdot a \cdot l^2 \right) \cdot 4 = \left(\frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 50^2 \right) \cdot 4 = 6666 \text{ mm}^3$$



$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = \sqrt{127,08^2 + 3 \cdot (127,08^2 + 74,88^2)} = 285 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

$$285 \text{ Mpa} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} = 453,3 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\sigma_{\perp} = 127 \text{ Mpa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 408 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6. Vyztužení haly – příčné a podélné vyztužení haly

(viz. technický výkres)

Příčné ztužení haly											
Profil	A mm	L mm	L_{cr}	$L_{cr,k}$	I_y (mm^4)	$\bar{\lambda}_y$	θ_y	λ_y	χ_y	$N_{by,Rd}$ (kN)	$N_{cr,y}$ (kN)
70x70x4	1040	6340	0,75	4755	747000	1,89	2,462	177,42	0,247	60,49	68,48
70x70x4	1040	4000	0,75	4755	747000	1,19	1,314	111,93	0,535	130,7	172
40x40x2,9	421	2060	0,75	1545	95400	1,09	1,191	102,63	0,600	59,45	82,83
Podélné ztužení haly											
.90x7	1220	5500	0,75	5100	925040	1,59	1,918	149,80	0,335	96,04	112,7
.55x6	631	3180	0,75	2385	172790	1,53	1,817	144,13	0,358	53,11	62,96
70x70x4	1040	6340	0,75	4755	747000	1,89	2,462	177,42	0,247	60,49	68,48
70x70x4	1040	5500	0,75	4125	747000	1,64	1,994	153,91	0,319	78,08	90,99
Ztužení příhradových vazníků ve střešní rovině											
.90x7	1220	6800	0,75	5100	925040	1,97	2,630	185,21	0,228	65,58	73,71
.90x7	1220	5500	0,75	5100	925040	1,59	1,918	149,80	0,335	96,04	112,7

7. Závěr

Při porovnání ručních a tabulkových výpočtů jsem došel k následujícím výsledkům.

U vaznic profilu Z200 $t=2\text{mm}$ byl rozdíl únosnosti efektivního průřezu mezi ručním výpočtem a tabulkovým 7%, ale u profilu Z200 $t=1,5\text{mm}$ byl rozdíl mezi ručním výpočtem a tabulkovým již značný a to 25%. Tento rozdíl mohl vzniknout jinými výchozími hodnotami použitými firmou při výpočtu tabulkových hodnot.

Na základě těchto výsledků jsem provedl alternativní výpočet mimo diplomovou práci, který odhalil možný důvod tohoto rozdílu. Zvažoval jsem při něm možnost, že realizační firma použila místo tlaku působícího na horní tlačnou pásnici, tlak centrický.

U centrického tlaku se efektivní šířka posuzuje jinak a vzniká tak menší efektivní plocha, která vede k rozdílným výsledkům. Tyto závěry jsem si ověřil výpočtem mimo diplomovou práci.

Každopádně tabulkový ohybový efektivní moment byl menší než ručně vypočítaný a tudíž se lze řídit dle tabulek výrobce.

U trapézových střešních plechů s menší šířkou vln byla únosnost dle efektivního ohybového momentu vyšší o 20 a 24% oproti tabulkovým hodnotám. V případě výpočtu trapézového plechu s větší šířkou vln (obrácená strana tr.plechu) byl rozdíl jen 1 a 7% oproti tabulkovým hodnotám. Dle mého názoru je možné předpokládat, že důvod rozdílu hodnot je podobný jako u profilu vaznic.

U příhradových vazníků byla rozhodujícím faktorem porovnání celková hmotnost každého typu příhradového vazníku. Nejlepší řešení se po ekonomické stránce ukázala varianta příhradového vazníku č.3. a jako druhá varianta č.2. Zde se jednalo o nejlepší variantu z hlediska průhybu, který zde byl nejnižší.

Nejhorší variantou z hlediska hmotnosti vychází příhradová konstrukce č.1. Byl zde i největší průhyb, který ale stále vyhovoval požadavkům norem. Tahle konstrukce má výhodu v použití zejména středního nadvýšení spodního pásu, tím pádem zvětšení objemové plochy.

8. Literatura

- [1] ČSN EN 1990: Zásady navrhování konstrukcí**
- [2] ČSN EN 1991: Zatížení konstrukcí**
- [3] ČSN EN 1991-1-3: Zatížení konstrukcí. Část 1-3: Zatížení sněhem**
- [4] ČSN EN 1991-1-4: Zatížení konstrukcí. Část 1-4: Zatížení větrem**
- [5] ČSN EN 1993-1-1: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby**
- [6] ČSN EN 1993-1-3: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-3: Obecná pravidla – Doplnující pravidla pro tenkostěnné za studena tvarované prvky a plošné profily**
- [7] ČSN EN 1993-1-5: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-5: Boulení stěn**
- [8] ČSN EN 1993-1-8: Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-8: Navrhování styčníků**
- [9] Studnička,J.: Ocelové konstrukce 10 – Tenkostěnné profily**
- [10] Odborné časopisy: Konstrukce, Stavitel, Struktural Engineering**
- [11] Internet**

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl zejména poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Miroslavovi Rosmanitovi, Ph.D., za jeho podporu, vedení a mnoho cenných rad. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za morální podporu při studiu. Mé poděkování patří i panu ing. Fojtíku Romanovi za poskytnutí rad ohledně statického programu Scia.